

**Capacitive distance measurement between workpiece and machining head e.g. of laser cutter or welding machine - comparing distance sensor signal with value derived from earlier sensor signal, e.g. formed by periodic sampling**

Veröffentlichungsnr. (Sek.) DE4217292  
Veröffentlichungsdatum : 1993-12-02  
Erfinder : JAGIELLA MANFRED DIPL ING (DE); TOPKAYA AHMED DR ING (DE); SPOERL GEORG DIPL ING (DE); WIESEMANN WOLF DR (DE)  
Anmelder :: WEIDMUELLER INTERFACE (DE)  
Veröffentlichungsnummer : ☐ DE4217292  
Aktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19924217292 19920525  
Prioritätsaktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19924217292 19920525  
Klassifikationssymbol (IPC) : B23K26/04 ; G01D1/02 ; G01D3/08 ; B23Q17/22 ; G01B7/14  
Klassifikationssymbol (EC) : B23K26/04, B23Q17/22C, G01B7/02B, G01D1/02, G01D5/241D  
Korrespondierende Patentschriften

---

**Bibliographische Daten**

---

A sensor electrode mounted on a machining head produces a sensor signal corresp. to the distance between a workpiece and the machining head. A later sensor signal value is compared with a comparison value derived from an earlier sensor signal value.  
A distance value corresp. to the comparison value is at least approximately maintained if the later signal is smaller than the comparison value by more than a defined amount. In other cases the later value is used to determine the distance value.  
ADVANTAGE - Accurate machining head to workpiece distance measurement and control are achieved even when sensor signals are subject to transient interruptions.

---

Daten aus der esp@cenet Datenbank -- 12





①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off nlegungsschrift  
⑩ DE 42 17 292 A 1

⑤1 Int. Cl. 5:  
B 23 K 26/04  
G 01 D 1/02  
G 01 D 3/08  
B 23 Q 17/22  
G 01 B 7/14

②1 Aktenzeichen: P 42 17 292.6  
②2 Anmeldetag: 25. 5. 92  
④3 Offenlegungstag: 2. 12. 93

DE 42 17 292 A 1

⑦1 Anmelder:

Weidmüller Interface GmbH & Co, 32760 Detmold,  
DE

⑦4 Vertreter:

ter Meer, N., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Müller, F.,  
Dipl.-Ing., 81679 München; Steinmeister, H.,  
Dipl.-Ing.; Wiebusch, M., 33617 Bielefeld; Urner, P.,  
Dipl.-Phys. Ing.(grad.), Pat.-Anwälte, 81679 München

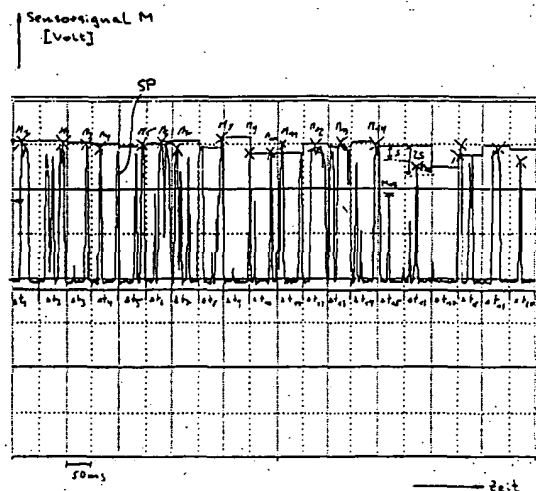
⑦2 Erfinder:

Jagiella, Manfred, Dipl.-Ing., 7500 Karlsruhe, DE;  
Topkaya, Ahmed, Dr.-Ing., 7500 Karlsruhe, DE; Spörl,  
Georg, Dipl.-Ing., 7560 Gaggenau, DE; Wiesemann,  
Wolf, Dr., 7560 Gaggenau, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Kapazitives Abstandsmeßverfahren

⑤7 Bei der kapazitiven Messung des Abstands zwischen einem Werkstück (2, 3) und einer Sensorelektrode (11; 13; 21; 26) treten häufig Zusammenbrüche des Sensorsignals (M) auf, und zwar infolge von Plasmabildung, Metallspritzern und dergleichen. Um auch in diesem Fall eine einwandfreie Abstandsregelung gewährleisten zu können, wird erfindungsgemäß ein späterer Sensorsignalwert ( $M_{i+1}$ ) mit einem Vergleichswert (V) verglichen, der unter Heranziehung eines früheren Sensorsignalwerts ( $M_i$ ) gebildet worden ist. Ist der spätere Sensorsignalwert ( $M_{i+1}$ ) um mehr als einen vorbestimmten Betrag (S) kleiner als der Vergleichswert (V), wird ein dem Vergleichswert (V) entsprechender Abstandswert beibehalten. Auf diese Weise läßt sich der Zusammenbruch des Sensorsignals (M) kompensieren. Ansonsten erfolgt die Ermittlung des Abstandswerts anhand des späteren Sensorsignalwerts ( $M_{i+1}$ ).



DE 42 17 292 A 1

Die Erfindung betrifft ein kapazitives Abstandsmeßverfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Es ist bereits allgemein bekannt, den Abstand zwischen einem Werkstück und einem Bearbeitungskopf zur Bearbeitung des Werkstücks auf kapazitivem Wege zu messen, und zwar unter Verwendung einer am Bearbeitungskopf angebrachten Sensorelektrode, die ein dem Abstand entsprechendes Sensorsignal liefert, dessen Größe von der Kapazität zwischen Sensorelektrode und Werkstück abhängt.

Durch Überwachung des Sensorsignals ist es möglich, den Bearbeitungskopf relativ zum Werkstück zu positionieren, um das Werkstück in geeigneter Weise bearbeiten zu können. Die Positionierung erfolgt über eine Regeleinrichtung, die den gemessenen Abstand als Ist-Wert empfängt und die Lage der Sensorelektrode bzw. des Bearbeitungskopfs in Abhängigkeit des Vergleichs des Ist-Werts mit einem vorgegebenen Soll-Wert steuert.

Der Bearbeitungskopf kann beispielsweise eine Laserschneiddüse sein, aus der ein Laserstrahl zur Bearbeitung des Werkstücks austritt. Mit Hilfe des Laserstrahls können am Werkstück Schweißarbeiten, Schneidarbeiten, usw., durchgeführt werden.

Es hat sich allerdings gezeigt, daß bei einigen Arbeiten das Sensorsignal erheblich gestört wird, und zwar immer dann, wenn bei der Bearbeitung des Werkstücks ein Plasma zwischen Sensorelektrode und Werkstück entsteht. Ein derartiges Plasma wird insbesondere bei Schweißarbeiten, aber auch beim Schneiden einiger bestimmter Materialien, wie z. B. Aluminium, gebildet. Das Plasma führt zu einer Vergrößerung der Meßkapazität, die soweit geht, daß das Sensorsignal zusammenbricht und der Regeleinrichtung damit ein zu kleiner Abstand vorgespiegelt wird. Störungen dieser Art treten auch durch Materialspritzer auf, die beim Bearbeiten des Werkstücks in den Bereich zwischen Sensorelektrode und Werkstück gelangen können. Eine einwandfreie Auswertung des Sensorsignals zur Abstandsregelung ist dann nicht mehr möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, daß eine genaue Abstandsmessung und damit Abstandsregelung auch dann durchgeführt werden kann, wenn das Sensorsignal kurzzeitig zusammenbricht, was insbesondere bei Schweißarbeiten, aber auch beim Schneiden einiger Materialien geschehen kann.

Die Lösung der gestellten Aufgabe ist im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegeben. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Das Verfahren nach der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß

- ein späterer Sensorsignalwert mit einem Vergleichswert verglichen wird, der unter Heranziehung eines früheren Sensorsignalwerts gebildet worden ist,
- ein dem Vergleichswert entsprechender Abstandswert für eine bestimmte Zeit wenigstens annähernd beibehalten wird, wenn der spätere Sensorsignalwert um mehr als einen vorbestimmten Betrag kleiner ist als der Vergleichswert, und
- ansonsten die Ermittlung des Abstandswerts anhand des späteren Sensorsignalwerts erfolgt.

Bricht das Sensorsignal zusammen, beispielsweise durch ein zwischen Sensorelektrode und Werkstück gebildetes Plasma oder durch Materialspritzer, die in diesen Bereich gelangen, so führt der obige Vergleich dazu, daß der spätere Sensorsignalwert, also der Wert des zusammengebrochenen Sensorsignals, um mehr als den vorbestimmten Betrag kleiner ist als der Vergleichswert, so daß zur Abstandsmessung weiterhin der frühere Sensorsignalwert herangezogen wird, der vor dem Zusammenbruch des Sensorsignals erhalten worden war. Es kann auch ein geringfügig kleinerer herangezogen werden, z. B. ein um die Schwelle kleinerer Sensorsignalwert. Mit anderen Worten wird der vor dem Zusammenbruch des Sensorsignals vorhandene Sensorsignalwert oder ein geringfügig kleinerer so lange aufrechterhalten, bis die den Zusammenbruch des Sensorsignals hervorgerufene Störung wieder vorüber ist. Die Dauer derartiger Störungen kann in einem Probebetrieb zuvor ermittelt werden, so daß sich die Zeiten, über die der frühere Sensorsignalwert aufrechterhalten bleiben soll, in Übereinstimmung damit vorgeben lassen.

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird das Sensorsignal zur Bildung der Sensorsignalwerte in periodischen Zeiträumen abgetastet, wobei die Länge der Zeiträume in Übereinstimmung mit dem zeitlichen Auftreten der Störungen gewählt ist. Führt der obige Vergleich dazu, daß der Sensorsignalwert in einem späteren Zeitraum (also der spätere Sensorsignalwert) um mehr als einen vorbestimmten Betrag kleiner ist als der Vergleichswert, so wird für diesen späteren Zeitraum ein Sensorsignalwert herangezogen, der bereits in einem früheren Zeitraum abgetastet worden ist (früherer Sensorsignalwert). Ist dagegen der abgetastete spätere Sensorsignalwert nicht um mehr als den vorbestimmten Betrag kleiner als der Vergleichswert oder größer als der Vergleichswert, so gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder kann schon der jetzt abgetastete Vergleichswert für den noch laufenden Zeitraum bis zu dessen Ende verwendet werden, oder erst für den nachfolgenden Zeitraum. Im zuletzt genannten Fall bleibt dann für den noch laufenden Zeitraum bis zu dessen Ende der Abtastwert des vorhergehenden Zeitraums aufrechterhalten.

Vorzugsweise wird als Sensorsignalwert der Maximalwert im jeweiligen periodischen Zeitraum herangezogen. Dieser Maximalwert entspricht am ehesten dem Abstand zwischen Sensorelektrode und Werkstück und läßt sich darüber hinaus in einfacher Weise erfassen bzw. abtasten.

Zur Bildung des Vergleichswerts können z. B. aufeinanderfolgende Sensorsignalwerte gemittelt werden. Hierdurch wird eine gewisse Filterwirkung erzielt. Es ist aber auch möglich, als Vergleichswert direkt den jeweils früheren abgetasteten Sensorsignalwert heranzuziehen.

Bleibt der abgetastete Sensorsignalwert in aufeinanderfolgenden Zeiträumen jeweils um mehr als den vorbestimmten Betrag kleiner als der Vergleichswert, so wird für sämtliche dieser Abtastzeiträume derjenige zuletzt abgetastete Sensorsignalwert verwendet, für den diese Bedingung nicht gegolten hat. Es kann durchaus der Fall auftreten, daß sich Störungen der eingangs beschriebenen Art über zwei, drei oder mehr Abtastzeiträume hinziehen. In diesem Fall werden gar keine oder nur sehr kleine Signalspitzen in den jeweiligen Abtastzeiträumen erhalten. Nach der Erfindung wird aber auch für eine derartige Situation Vorsorge getroffen,

um auch jetzt Abstandswerte für die Abstandsregelung zur Verfügung stellen zu können.

Allerdings ist es möglich, daß sich während dieser Abtastzeiträume das Sensorsignal tatsächlich verkleinert hat, so daß eine Art Kompromiß aufgefunden werden muß, und zwar hinsichtlich der Entscheidung, ob eine Störung oder eine tatsächliche Verkleinerung des Abstands aufgetreten ist.

Für diesen Zweck wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, für aufeinanderfolgende der mehreren Abtastzeiträume, für die ein zuvor abgetasteter Sensorsignalwert bzw. ermittelter Abstandswert beizubehalten ist, den genannten vorbestimmten Betrag schrittweise zu vergrößern, und zwar von Abtastzeitraum zu Abtastzeitraum. Hierdurch läßt sich der wirkliche Abstand zwischen Sensorelektrode und Werkstück, falls er sich tatsächlich verkleinert haben sollte, sehr schnell wieder erfassen.

Selbstverständlich kann das gesamte Sensorsignal einer Tiefpaßfilterung unterzogen werden, um die Regelung stabiler betreiben zu können.

Wie bereits erwähnt, wirkt sich insbesondere die Bildung eines Plasmas auf die Erzeugung eines genauen Sensorsignals nachteilig aus. Wichtig bei der Erfindung ist es daher, daß zwischen der Sensorelektrode und dem Werkstück verlaufende elektrische Feldlinien durch das insbesondere beim Schweißen entstehende Plasma unbeeinflusst bleiben, so daß es darauf ankommt, diese elektrischen Feldlinien und das Plasma voneinander zu trennen. Dies kann in räumlicher oder in zeitlicher Hinsicht geschehen. Die räumliche Trennung darf allerdings nur soweit gehen, daß man noch von einer Abstandsmessung im Bearbeitungsbereich sprechen kann. Bei der zeitlichen Trennung muß darauf geachtet werden, daß die Abstandsmessung nur dann erfolgt wenn der Laser nicht aktiv ist.

Nach einer sehr vorteilhaften weiteren Ausgestaltung wird daher erfindungsgemäß das Sensorsignal so erzeugt daß zwischen der Sensorelektrode und dem Werkstück verlaufende elektrische Feldlinien unmittelbar seitlich an einem Werkstück-Bearbeitungsbereich vorbeigeführt werden. In diesem Fall können z. B. Schweißvorgang und Abstandsmessung simultan durchgeführt werden.

Soweit die zeitliche Trennung von Plasma und elektrischen Feldlinien betroffen ist, kann während einer Abstandsmessung z. B. ein zur Bearbeitung verwendeter Laserstrahl ausgeblendet werden, z. B. periodisch, wobei während der Ausblendphasen, in denen kein Plasma erzeugt wird, die Abstandsmessung erfolgt. In diesem Fall läßt sich die Abstandsmessung dann direkt im Werkstück-Bearbeitungsbereich vornehmen.

Die zur Abstandsmessung zwischen der Sensorelektrode und dem Werkstück verlaufenden Feldlinien werden erfindungsgemäß entweder haubenartig über das Plasma hinweggeleitet, können das Plasma aber auch zylinderwandartig umgreifen, je nach Elektrodenkonfiguration. Mit anderen Worten wird das Sensorsignal durch elektrische Feldlinien erzeugt die haubenartig relativ zum Werkstück-Bearbeitungsbereich verlaufen, oder durch elektrische Feldlinien, die hohlzylinderartig relativ zum Werkstück-Bearbeitungsbereich stehen. Zu diesem Zweck kann beispielsweise eine ringförmig ausgebildete Sensorelektrode verwendet werden, durch die der Bearbeitungslaserstrahl hindurchläuft. Nach einer sehr vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann beim Detektieren des Sensorsignals ein oberhalb des Werkstück-Bearbeitungsbereichs liegender Bereich des

Bearbeitungskopfs auch durch ein Schirmpotential abgeschirmt sein, um für eine noch bessere Ausblendung von Störungen bzw. des Plasmas bei der kapazitiven Abstandsmessung zu sorgen. Das Schirmpotential kann beispielsweise aktives Schirmpotential sein, das dadurch erhalten wird, daß das Meßpotential, das der Sensorelektrode zugeführt wird, über einen Verstärker mit einem gewünschten Verstärkungsgrad geleitet wird.

Nach einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird das elektrische Feld zur kapazitiven Abstandsmessung an einer Stelle erzeugt, die in Bewegungsrichtung des Bearbeitungskopfs gesehen vor dem Werkstück-Bearbeitungsbereich bzw. vor demjenigen Bereich, in dem sich ein Plasma bilden kann, liegt. Eine infolge der Bewegung des Bearbeitungskopfs erzeugte Luftströmung sorgt dann dafür, daß das beim Bearbeiten (Schweißen bzw. Schneiden) entstehende Plasma nicht in den Bereich zwischen Sensorelektrode und Werkstück gelangen kann, also der Abstandsmeßbereich von Plasma oder gegebenenfalls Metallspritzern unbeeinflusst bleibt. Zur Verbesserung dieser Maßnahme kann sich im Bereich dieser Sensorelektrode auch die Öffnung eines Rohrs befinden, durch das hindurch ein Schutzgas zum Bearbeitungsbereich geleitet wird. Das aus dem Rohr ausströmende Schutzgas treibt somit das beim Bearbeiten entstehende Plasma von der Sensorelektrode weg.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Laserbearbeitungsdüse mit einer kappenförmigen Sensorelektrode.

Fig. 2 eine weitere Laserbearbeitungsdüse mit einer ringförmigen Sensorelektrode,

Fig. 3 einen Laserbearbeitungskopf mit einem Schutzgasrohr, an welchem eine Sensorelektrode zur Abstandsmessung befestigt ist,

Fig. 4 ein Signaldiagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 5 eine Schaltungsanordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 6 eine Störungsdetektorschaltung für die Schaltungsanordnung nach Fig. 5, und

Fig. 7 eine weitere Schaltungsanordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit der in Fig. 6 gezeigten Störungsdetektorschaltung.

Die Fig. 1 zeigt eine als Bearbeitungskopf dienende Laserbearbeitungsdüse 1 zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, mit deren Hilfe zwei Werkstücke 2 und 3 miteinander verschweißt werden. Eine Schweißnaht trägt das Bezugszeichen 4 und erstreckt sich in Fig. 1 senkrecht zur Zeichenebene. Die Werkstücke 2 und 3 sind über einen Anschluß 5 geerdet.

Die Laserbearbeitungsdüse 1 besteht aus einem konisch verlaufenden Düsenkörper 6, der aus elektrisch leitendem Material besteht, z. B. aus Aluminium oder Stahl. Der Düsenkörper 6 weist in seinem Innern einen Hohlkanal 7 auf, der sich entlang der Zentralachse 8 des Düsenkörpers 6 erstreckt. Durch den Hohlkanal 7 wird ein Laserstrahl 9 hindurchgeführt, dessen Fokus im Bereich der Schweißnaht 4 zu liegen kommt. Der Laserstrahl 9 wird mit Hilfe einer nicht dargestellten Optik fokussiert und läßt sich z. B. mit einem CO<sub>2</sub>-Laser oder mit einem YAG-Laser erzeugen.

An der Spitze des Düsenkörpers 6 befindet sich eine Düsenelektrode 10, die gegenüber dem Düsenkörper 6 elektrisch isoliert ist. Beispielsweise kann die Düsenelektrode 10 in einem nicht dargestellten Keramikkörper ruhen, der seinerseits von der Spitze des Düsenkör-

pers 6 aufgenommen wird. Ein Überwurfelement 11, beispielsweise eine Überwurfmutter, hält die Düsen-  
elektrode 10 an der Spitze des Düsenkörpers 6. Hierzu  
greift das Überwurfelement 11 über einen äußeren  
Flansch der Düsenelektrode 10 und zieht diese gegen  
die Spitze des Düsenkörpers 6, wenn es mit dem Düsen-  
körper 6 verbunden, z. B. verschraubt wird. Die Düsen-  
elektrode 10 und der nicht dargestellte Keramikkörper  
weisen ebenfalls zentrale Durchgangsöffnungen für den  
Durchtritt des Laserstrahls 9 auf.

Das Überwurfelement 11 ist sowohl gegenüber dem  
Düsenkörper 6 als auch gegenüber der Düsenelektrode  
10 elektrisch isoliert. Hierzu kann das Überwurfelement  
11 wenigstens im Verbindungsbereich mit dem Düsen-  
körper 6 und der Düsenelektrode 10 eine elektrisch iso-  
lierende Oberflächenbeschichtung tragen, beispielswei-  
se eine Eloxalschicht, wenn es aus Aluminium besteht.  
Die elektrisch isolierende Oberflächenbeschichtung  
kann sich aber auch auf der gesamten Oberfläche des  
Überwurfelements befinden, also sowohl innen als auch  
außen. Sie läßt sich auch aus Teflon oder einem anderen  
geeigneten Material herstellen, beispielsweise aus einer  
Keramik.

Mit Hilfe einer nicht dargestellten Schalteinrichtung  
außerhalb der Laserbearbeitungsdüse 1 lassen sich an  
die Düsenelektrode 10 und an das Überwurfelement 11  
verschiedene Potentiale anlegen. Hierzu sind die Düsen-  
elektrode 10 und das Überwurfelement 11 über separa-  
te Leitungen mit der Schalteinrichtung verbunden. Der  
Düsenkörper 6 liegt im allgemeinen auf Erdpotential.

Soll die Laserbearbeitungsdüse 1 zum Verschweißen  
der Werkstückteile 2 und 3 benutzt werden, so wird zu  
diesem Zweck ein Laserstrahl 9 mit entsprechender Lei-  
stung erzeugt. Dieser Laserstrahl 9 wird durch eine ge-  
eignete Bewegung des Düsenkörpers 6 entlang der  
Schweißnaht 4 (Werkstück-Bearbeitungsbereich) ge-  
führt, wobei zwischen der Schweißnaht 4 und der Dü-  
senelektrode 10 ein Plasma P entsteht. Um den Einfluß  
dieses Plasmas P bei der kapazitiven Abstandsmessung  
zwischen der Spitze des Düsenkörpers 6 und dem  
Werkstück zu beseitigen bzw. auf ein Minimum zu redu-  
zieren, wird ein für die Abstandsmessung benötigtes  
Sensorpotential an das Überwurfelement 11 angelegt.  
Dagegen wird der Düsenelektrode 10 ein aktives  
Schirmpotential zugeführt, das dadurch erhalten wird,  
daß das Sensorpotential über einen Verstärker mit ei-  
nem gewünschten Verstärkungsgrad geleitet wird. Der  
Verstärkungsgrad dieses Verstärkers kann z. B. 1 oder  
größer bzw. kleiner sein, um auf diese Weise Einfluß auf  
den Verlauf von Feldlinien 12 zwischen Überwurfele-  
ment 11 und Werkstück nehmen zu können.

Durch das aktive Schirmpotential an der Düsenelektrode 10 wird mit anderen Worten der Bereich oberhalb  
des Plasmas P zur Abstandsmessung ausgeblendet, so  
daß die Meßkapazität nur zwischen Überwurfelement 11  
und Werkstück vorhanden ist. Die elektrischen Feld-  
linien 12 zwischen Überwurfelement 11 und Werkstück  
umgeben somit das Plasma P haubenartig, ohne daß  
dieses noch einen störenden Einfluß auf die Meßkapazi-  
tät ausüben könnte. Der haubenartige Verlauf der elek-  
trischen Feldlinien 12 kommt im wesentlichen dadurch  
zustande, daß diese seitlich aus dem Überwurfelement  
11 heraustreten, das kappenartig ausgebildet ist.

Soll die in Fig. 1 gezeigte Laserbearbeitungsdüse  
nicht zum Laserschweißen verwendet werden, so lassen  
sich die Potentiale an der Düsenelektrode und am Über-  
wurfelement durch geeignete Ansteuerung der Schalt-  
einrichtung auch vertauschen, um jetzt z. B. eine Ab-

standsmessung direkt zwischen Düsenelektrode 10 und  
Werkstück durchführen zu können.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Düsenelektrode 10 vorzugsweise aus Kupfer besteht, während das  
Überwurfelement 11 z. B. aus Aluminium hergestellt ist.

Die Fig. 2 zeigt eine weitere Laserbearbeitungsdüse  
zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.  
Gleiche Elemente wie in Fig. 1 sind mit den gleichen  
Bezugszeichen versehen und werden nicht nochmals be-  
schrieben.

Die Laserbearbeitungsdüse 1 nach Fig. 2 weist einen  
Düsenkörper 6 mit Hohlkanal 7 auf, durch den entlang  
der Zentralachse 8 ein Laserstrahl 9 hindurchläuft. Der  
Düsenkörper 6 besteht aus elektrisch leitendem Materi-  
al, beispielsweise aus Stahl oder Aluminium. Er kann  
aber auch aus Kupfer hergestellt sein.

An seiner dem Werkstück zu gewandten Seite ist der  
Düsenkörper 6 flächenhaft ausgebildet. Erweist dort ei-  
ne ringförmige Ausnehmung zur Aufnahme einer Ring-  
elektrode 13 auf. Die Ringelektrode 13 kann ebenfalls  
aus Kupfer bestehen und ist gegenüber dem Düsenkör-  
per 6 elektrisch isoliert, beispielsweise durch eine geeig-  
nete Oberflächenbeschichtung aus elektrisch isolieren-  
dem Material, wie etwa Teflon, Keramikmaterial, und  
dergleichen. Diese Ringelektrode 13 ist fest in die Stirn-  
seite des Düsenkörpers 6 eingesetzt und dient zur Mes-  
sung des Abstands zwischen der Spitze des Düsenkör-  
pers 6 und dem Werkstück auf kapazitivem Wege. Hier-  
zu wird an die Ringelektrode 13 ein Sensorpotential  
angelegt, und zwar über eine elektrische Leitung 14, die  
mit der Ringelektrode 13 verbunden ist und durch einen  
Kanal 15 im Düsenkörper 6 hindurchläuft. An den Dü-  
senkörper 6 wird aktives Schirmpotential angelegt, das  
dadurch erhalten wird, daß das Sensorpotential über  
einen Verstärker mit geeignetem Verstärkungsgrad ge-  
führt wird, wobei dieser Verstärkungsgrad z. B. 1 sein  
kann.

Beim Laserschweißen mit Hilfe der Laserbearbei-  
tungsdüse 1 nach Fig. 2 entsteht zwischen der Stirnflä-  
che des Düsenkörpers 6 und der Schweißnaht 4 ein  
Plasma P, das eine unmittelbare Messung des Abstands  
auf kapazitivem Wege im Schweißbereich nicht zuläßt.  
Ein derartiges Plasma kann ggf. auch beim Laserschnei-  
den entstehen. Infolge der Ringelektrode 13 wird die  
Meßkapazität jedoch um das Plasma P bzw. den  
Schweiß- oder Schneidbereich herumgelegt, so daß  
elektrische Feldlinien 16 zwischen der Ringelektrode 13  
und dem Werkstück bzw. den Werkstückteilen 2 und 3  
das Plasma P zylinderwandartig umgeben. Die elektri-  
schen Feldlinien 16 verlaufen hier praktisch zwischen  
zwei parallel zueinander liegenden Flächen, im Gegen-  
satz zur Anordnung nach Fig. 1, wo die Seitenwand des  
Überwurfelements 11 relativ stark zur Werkstückober-  
fläche geneigt ist.

Auch beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 befindet  
sich der unmittelbar oberhalb des Plasmas P liegende  
Bereich des Düsenkörpers 6 auf aktivem Schirmpotenti-  
al, so daß auf diese Weise der Bereich des Plasmas P bei  
der Abstandsmessung ausgeblendet bzw. ausgespart  
wird. Da außerdem noch ein aktiver Schirmbereich 6a  
die Ringelektrode 13 außen umgibt, kann die kapazitive  
Abstandsmessung auch relativ unbeeinflusst von Halte-  
elementen 17 durchgeführt werden, die zum Fixieren  
der Werkstückteile 2 und 3 dienen und z. B. ebenfalls aus  
elektrisch leitendem Material bestehen können. Bei  
Draufsicht auf die Stirnseite des Düsenkörpers 6 liegt  
also zentrisch der Kanal 7 für den Laserstrahl 9, wobei  
der Kanal 7 von innen nach außen von einer Schirm-

elektrode, der Ringelektrode 13 und der weiteren Schirmelektrode 6a umgeben ist. Die zuerst genannte Schirmelektrode und die Schirmelektrode 6a werden durch den Düsenkörper 6 gebildet und liegen auf aktivem Schirmpotential.

In Abwandlung der Einrichtung nach Fig. 2 ist es auch möglich, die Ringelektrode 13 im Abstand unterhalb des Düsenkörpers 6 anzuordnen, und zwar über eine geeignete Halteeinrichtung. Die Ringelektrode kann dann z. B. aus einem kreisförmig gebogenen Draht bestehen, der über einen stabilen Stab relativ zum Düsenkörper 6 positioniert wird.

Ein drittes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigt die Fig. 3. Hier handelt es sich um ein sogenanntes offenes System, bei dem kein Düsenkonus vorhanden ist. Mit Hilfe einer Abbildungseinrichtung 18 wird ein fokussierter Laserstrahl 9 erzeugt, der zur Durchführung eines Schweiß- oder Schneidvorgangs auf ein Werkstück 2 fokussiert wird. Die Bewegungsrichtung der Abbildungseinrichtung 18 ist in Fig. 3 mit dem Bezugszeichen B gekennzeichnet. Das Werkstück 2 liegt über einen Anschluß 5 auf Erdpotential.

An der Abbildungseinrichtung 18 ist über eine Halteeinrichtung 19 ein Rohr 20 befestigt, das bis herunter zum Schweiß- oder Schneidbereich (Werkstück-Bearbeitungsbereich) geführt und dort so abgeknickt ist, daß seine Neigung relativ zum Werkstück 2 nicht mehr so groß ist. Die untere Rohröffnung weist dabei zum Schweiß- oder Schneidbereich hin, so daß dem Schweiß- oder Schneidbereich über das Rohr 20 ein Schutzgas zugeführt werden kann. Das Schutzgas strömt in Richtung des Pfeils C aus dem unteren Ende des Rohrs 20 heraus, also in einer Richtung, die entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung B liegt. Hierdurch läßt sich verhindern, daß ein beim Schweißen oder Schneiden entstehendes Plasma P in den Bereich des abgeknickten unteren Rohrendes gelangt. Die eigentliche Funktion des Schutzgases ist, zu verhindern, daß Sauerstoff an die Bearbeitungsstelle kommt.

Am unteren und abgeknickten Ende des Rohrs 20 befindet sich eine Sensorelektrode 21, die beispielsweise aus Kupfer besteht. Die Sensorelektrode 21 weist zum Werkstück 2 hin und ist über eine Halteeinrichtung 22 am Rohr 20 befestigt. Die Halteeinrichtung 22 kann beispielsweise ein hitzebeständiger Kleber sein. Mit der Sensorelektrode 21 ist ein abgeschirmtes Kabel 23 verbunden, beispielsweise ein Koaxialkabel, dessen anderes Ende mit einer Steckerbuchse 24 verbunden ist, die am oberen Ende des Rohrs 20 befestigt ist. Über diese Steckerbuchse 24 (Koaxialsteckerbuchse) läßt sich einerseits über das Kabel 23 Sensorpotential zur Sensorelektrode 21 übertragen, während aktives Schirmpotential an den Schirmleiter des Kabels 23 angelegt wird.

Durch die genannte Anordnung der Sensorelektrode 21 kann insbesondere auch beim Laserschweißen der Abstand zwischen der Sensorelektrode 21 und dem Werkstück 2 auf kapazitivem Wege gemessen werden, ohne daß diese Messung durch das beim Schweißen entstehende Plasma P nachteilig beeinflusst wird.

Vorteilhaft bei der genannten Ausbildung ist weiterhin, daß sich die Sensorelektrode 21 durch das durch das Rohr 20 hindurchgeleitete Schutzgas gleichzeitig kühlen läßt. Hierdurch verlängert sich ihre Lebensdauer. Das Kabel 23 kann darüber hinaus im Innern des Rohrs 20 verlegt werden, wobei das Rohr 20 dann die Abschirmfunktion übernehmen kann. In diesem Fall wird das Rohr 20 mit aktivem Schirmpotential beaufschlagt,

während das im Rohr 20 verlegte Kabel keinen weiteren Schirmleiter mehr benötigt. Die Sensorelektrode 21, die z. B. kreisplattenförmig ausgebildet sein kann, könnte auch von einer weiteren und in der Sensorelektrodenebene liegenden Schirmelektrode umgeben sein, die in elektrisch leitendem Kontakt mit dem Rohr 20 steht und damit auf Schirmpotential zu liegen kommt. Auf diese Weise ließe sich der Einfluß des Plasmas P bei der kapazitiven Abstandsmessung zwischen der Sensorelektrode 21 und dem Werkstück noch weiter zurückdrängen.

Natürlich ist es möglich, bei allen gezeigten Ausführungsbeispielen den Laserstrahl 9 auch periodisch ein- und auszuschalten, um während der Ausschaltphasen des Laserstrahls die Abstandsmessung auf kapazitivem Wege durchzuführen.

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren im einzelnen beschrieben, und zwar zunächst unter Bezugnahme auf die Fig. 4. Die Fig. 5 und 6 zeigen Vorrichtungen zur Durchführung des Verfahrens, wobei zur Lieferung des Sensorsignals M Bearbeitungsköpfe gemäß den Fig. 1 bis 3 verwendet werden können. Die Fig. 4 zeigt in vergrößerter Darstellung ein von einer Sensorelektrode bzw. Düsenelektrode abgenommenes Sensorsignal M, das z. B. bei einem Schweißvorgang erhalten wird. Die Zeitachse ist in Fig. 4 gestreckt, um das Sensorsignal M besser erkennen zu können. Infolge des beim Schweißvorgang entstehenden Plasmas zwischen Sensorelektrode und Werkstück bricht das Sensorsignal M in unregelmäßigen Zeitabständen zusammen, so daß als Sensorsignal M lediglich eine Folge von Signalspitzen  $S_p$  erhalten wird. Das Sensorsignal M läßt sich digitalisieren, um durch Software-Maßnahmen weiterverarbeitet werden zu können, wie nachfolgend zuerst beschrieben wird. Es kann aber auch als Analogsignal weiterverarbeitet werden, was unter Bezugnahme auf die Fig. 5 und 6 ausgeführt wird.

Zur Digitalisierung wird ein Zeitraster über das Sensorsignal M gelegt. Mit anderen Worten wird das Sensorsignal M in periodischen Zeiträumen  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots$  abgetastet, um jeweils den maximalen Signalwert für den jeweiligen Zeitraum  $\Delta t$  zu erfassen. Der maximale Signalwert wird nachfolgend als Sensorsignalwert bezeichnet, so daß für den Zeitraum  $\Delta t_1$  ein Sensorsignalwert  $M_1$ , für den Zeitraum  $\Delta t_2$  ein Sensorsignalwert  $M_2$ , und dergleichen, erhalten werden. Die Länge der jeweiligen Zeiträume  $\Delta t_1$  wird in Übereinstimmung mit den zu erwartenden Störungen im Sensorsignal M festgelegt, im vorliegenden Fall beispielsweise auf 50 Millisekunden. Die geeignetste Zeiträumlänge sollte zuvor für einen bestimmten Bearbeitungsvorgang während eines Probebetriebs ermittelt werden.

Nach Abtastung der Sensorsignalwerte  $M_1, M_2, \dots$  werden diese zwischengespeichert, um anschließend weiterverarbeitet zu werden. Diese Zwischenspeicherung kann nur eine Teilmenge der Sensorsignalwerte betreffen, um einen Online-Betrieb durchführen zu können.

Im folgenden sei angenommen, daß im Zeitraum  $\Delta t_2$  als Maximalwert der Sensorsignalwert  $M_2$  abgetastet wird, anhand dessen sich der Abstand zwischen Sensorelektrode und Werkstück ermitteln läßt. Dieser Sensorsignalwert  $M_2$  bleibt während des nächsten Zeitraums  $\Delta t_3$  aufrechterhalten, und zwar bis zum Ende dieses Zeitraums  $\Delta t_3$ . Innerhalb des Zeitraums  $\Delta t_3$  wird dann der Sensorsignalwert  $M_3$  abgetastet, wobei dieser Sensorsignalwert  $M_3$  mit einem Vergleichswert V verglichen wird, der z. B. der Sensorsignalwert  $M_2$  oder der über den Zeitraum  $\Delta t_2$  aufrechterhaltene Sensorsignal-

wert  $M_1$  sein kann. Der Vergleichswert kann aber auch durch Mittelwertbildung vorangegangener Sensorsignalwerte erhalten worden sein, beispielsweise durch Mittelwertbildung der Signalwerte  $M_1$  und  $M_2$ . Wird am Ende des Zeitraums  $\Delta t_3$  festgestellt, daß der Sensorsignalwert  $M_3$  nicht um mehr als einen vorbestimmten Betrag  $S$  kleiner ist als der Vergleichswert  $V$ , so wird für den nachfolgenden Zeitraum  $\Delta t_4$  dieser Sensorsignalwert  $M_3$  aufrechterhalten, usw.

Im Zeitraum  $\Delta t_8$  gilt zunächst der vorher ermittelte Sensorsignalwert  $M_7$ , wobei im Zeitraum  $t_8$  der Sensorsignalwert  $M_8$  detektiert wird. Er ist größer als der Sensorsignalwert  $M_7$ , so daß für den nächsten Zeitraum  $\Delta t_9$  dieser Sensorsignalwert  $M_8$  gilt. Mit anderen Worten hat sich vom Zeitraum  $\Delta t_8$  zum Zeitraum  $\Delta t_9$  der Abstand zwischen Sensorelektrode und Werkstück vergrößert. Es wird also im Zeitraum  $\Delta t_9$  der neue Wert  $M_8$  übernommen, da auch dieser nicht um mehr als den vorbestimmten Betrag  $S$  kleiner gegenüber dem Vergleichswert  $V$  (z. B. dem Sensorsignalwert  $M_7$ ) war.

Eine weitere Situation soll anhand der Zeiträume  $\Delta t_{14}$ ,  $\Delta t_{15}$  und  $\Delta t_{16}$  beschrieben werden. Im Zeitraum  $\Delta t_{15}$  wird nur ein relativ kleiner Sensorsignalwert  $M_{15}$  erhalten, beispielsweise infolge einer Plasmaerscheinung. Dieser Sensorsignalwert  $M_{15}$  (späterer Sensorsignalwert) wird mit dem Sensorsignalwert  $M_{14}$  (früherer Sensorsignalwert) verglichen, wobei festgestellt wird daß der Sensorsignalwert  $M_{15}$  um mehr als den vorbestimmten Betrag  $S$  kleiner ist als der Sensorsignalwert  $M_{14}$ , der hier den Vergleichswert  $V$  bildet. Das hat zur Folge, daß der Sensorsignalwert  $M_{14}$ , der während des Zeitraums  $\Delta t_{15}$  sowieso schon galt, auch während des Zeitraums  $\Delta t_{16}$  aufrechterhalten bleibt, wie die Fig. 4 erkennen läßt. Für den Zeitraum  $\Delta t_{16}$  kann jetzt aber der vorbestimmte Betrag auf den Wert  $2S$  erhöht werden, um die Regeleinrichtung möglichst schnell auf einen tatsächlich kleiner gewordenen Abstand zwischen Sensorelektrode und Werkstück fahren zu können. So wird beispielsweise im Zeitraum  $\Delta t_{16}$  der Sensorsignalwert  $M_{16}$  erhalten, der in den dort eingezeichneten Bereich  $2S$  fällt. Dieser Sensorsignalwert  $M_{16}$  ist also nicht um mehr als den vorbestimmten Betrag  $2S$  kleiner als der Vergleichswert  $M_{14}$ , so daß er jetzt für den nächsten Zeitraum  $\Delta t_{17}$  gilt. Die Vergrößerung des vorbestimmten Betrags  $S$  kann in linearer Beziehung zur Anzahl derjenigen Zeiträume  $\Delta t_i$  stehen, über die das Sensorsignal aufrechterhalten bleibt. Würde z. B. der Sensorsignalwert  $M_{16}$  nicht bis in den Bereich  $2S$  hineinreichen, so würde auch im Zeitraum  $\Delta t_{17}$  der Sensorsignalwert  $M_{14}$  gelten. Dabei würde allerdings der vorbestimmte Betrag für den Zeitraum  $\Delta t_{17}$  auf  $3S$  erhöht werden.

Selbstverständlich kann auch eine andere Beziehung zwischen dem vorbestimmten Betrag  $S$  und der Anzahl der Zeiträume herangezogen werden, über die das Sensorsignal konstant gehalten wird. Wichtig ist jedoch, daß die vorbestimmte Betrag  $S$  für aufeinanderfolgende der mehreren Abtastzeiträume schrittweise vergrößert, um möglichst schnell tatsächlich kleinere Abstandswerte erfassen zu können.

Wird für eine vorgegebene Anzahl von Zeiträumen, beispielsweise für sechs aufeinanderfolgende Zeiträume, keine Änderung des Sensorsignalwerts erhalten, nachdem entschieden worden ist, den Sensorsignalwert aufrecht zu erhalten, so wird angenommen, daß eine Kollision zwischen Sensorelektrode und Werkstück vorliegt, was zur Stillsetzung der Regeleinrichtung führt.

Wird bei der Signalabtastung während des Zeitraums

$\Delta t_1$  ein größerer Sensorsignalwert  $M_i$  ermittelt als während des Zeitraums  $\Delta t_1$ , so kann dieser größere Sensorsignalwert  $M_i$  auch sofort übernommen und  $\Delta t_{i+1}$  sofort gestartet werden. Während des Zeitraums  $\Delta t_{i+1}$  gilt dann dieser größere Sensorsignalwert  $M_i$ . Das Zeitraaster zur Abtastung des Sensorsignals  $M$  ist hier also nicht konstant, vielmehr werden hier die einzelnen Zeitperioden von z. B. 50 Millisekunden immer dann erneut gestartet, wenn der genannte höhere Abtastwert erhalten worden ist. Dadurch kann die Abstandsregelung schneller durchgeführt werden.

Die Fig. 5 zeigt eine Abstandsmeß- und regeleinrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Entsprechend der Fig. 5 enthält die Abstandsmeß- und regeleinrichtung eine Sensoreinheit 25, die einseitig mit einer Sensorelektrode 26 (Düsenelektrode) über ein Koaxialkabel 25a verbunden ist. Die Sensoreinheit 25 gibt an ihrem Ausgang das Sensorsignal  $M$  aus, also eine Meßspannung, deren Größe vom Abstand (bzw. von der Kapazität) zwischen Sensorelektrode 26 und Werkstück abhängt. Dieses Sensorsignal  $M$  wird dem Eingang einer Abstandsregelschaltung 27 zugeführt, die das Sensorsignal  $M$ , das als Ist-Wertsignal dient, mit einem Soll-Wertsignal vergleicht. Ein vergleichsabhängiges Stellsignal wird vom Ausgang der Abstandsregelschaltung 27 über einen Schalter 28, und einen Servoverstärker 29 einem Motor 30 zugeführt, der seinerseits die Position eines nicht dargestellten Bearbeitungskopfs, an dem die Sensorelektrode 26 befestigt ist, in Abhängigkeit des Stellsignals verändert. Auf diese Weise läßt sich z. B. der Abstand der Sensorelektrode 26 vom Werkstück konstant halten.

Der Schalter 28 weist drei Schaltkontakte 28a, 28b und 28c auf. Ein bewegbares Schaltglied 28b ist ständig mit dem Schaltkontakt 28a verbunden, der seinerseits mit dem Eingang des Servoverstärkers 29 verbunden ist. Der Schaltkontakt 28b ist mit dem Ausgang der Abstandsregelschaltung 27 verbunden, während der Schaltkontakt 28c auf Masse liegt. Mit anderen Worten ist das Schaltglied 28d zwischen den Schaltkontakten 28b und 28c hin und her bewegbar.

Die Verschiebung des Schaltglieds 28d erfolgt über eine Stalleinrichtung 31, die von einem Störungsdetektor 32 angesteuert wird, der seinerseits am Eingang das Sensorsignal  $M$  empfängt.

Der Störungsdetektor 32 überwacht das von der Sensoreinheit 25 ausgegebene Sensorsignal  $M$ . Nach Erkennen einer Störung wird der Eingang des Servoverstärkers 29 gegen Masse geschaltet, wozu der Störungsdetektor 32 die Stalleinrichtung 31 so ansteuert, daß durch sie das Schaltglied 28d mit dem Schaltkontakt 28c verbunden wird. Der Motor bzw. der durch ihn angesteuerte Antrieb für den Bearbeitungskopf behält dann seine aktuelle Position so lange bei, bis eine erneute Umschaltung des Schalters 28 erfolgt. Liegt keine Störung vor, so ist das Schaltglied 28d mit dem Schaltkontakt 28b verbunden. In diesem Fall wird die Abstandsregelung durchgeführt.

Die Fig. 6 zeigt den genaueren Aufbau des Störungsdetektors 32. Er enthält eine Verzögerungsleitung 33, die an ihrem Eingang das Sensorsignal  $M$  empfängt, das am Ausgang der Sensoreinheit 25 erscheint. Der Ausgang der Verzögerungsleitung 33 ist mit dem Eingang einer Subtrahierstufe 34 verbunden, deren zweiter Eingang (Subtraktionseingang) ebenfalls das Sensorsignal  $M$  empfängt, jedoch unverzögert. Der Ausgang der Subtrahierstufe 34 ist mit dem positiven Eingang eines



Komparators 35 (Differenzverstärker) verbunden, dessen negativer Eingang eine Referenzspannung empfängt. Über den Ausgang des Komparators 35 wird ein Monoflop 36 angesteuert, dessen Ausgangssignal zur Umschaltung des Schalters 28 herangezogen wird.

Mit Hilfe des in Fig. 6 gezeigten Störungsdetektors wird das von der Sensoreinheit 25 gelieferte Sensorsignal M von einem zeitlich verzögerten Sensorsignal M' subtrahiert. Bei Signaleinbrüchen entstehen am Ausgang der Subtrahierstufe 34 positive Signale. Wenn diese Signale einen bestimmten Wert überschreiten, wird der Monoflop 36 getriggert. Der Ausgang des Monoflops 36 erzeugt ein "Einfriersignal", durch welches der Schalter 28 so umgeschaltet wird, daß das Schaltglied 28d mit dem Schaltkontakt 28c in Kontakt kommt, um den Eingang des Servoverstärkers 29 auf Masse zu legen. Mit anderen Worten wird dadurch der Eingang der Motorendstufe für eine einstellbare Zeit gegen Masse geschaltet. Diese einstellbare Zeit hängt von der Dauer der typischerweise auftretenden Störungen ab und läßt sich vorher in einem Probetrieb ermitteln. Dasselbe gilt auch für die Verzögerungszeit der Verzögerungsleitung 33.

Tritt im Sensorsignal M während der Verzögerungszeit der Verzögerungsleitung 33 kein Signalzusammenbruch auf, so entspricht das Sensorsignal M' am Ausgang der Verzögerungsleitung 33 dem Sensorsignal M an deren Eingang. Die Subtrahierstufe 34 gibt daher an ihrem Ausgang nur ein sehr kleines Signal aus, so daß auch der Ausgang des Komparators 35 unterhalb einer gewissen Schwelle bleibt, wenn sein negativer Eingang Ref z. B. auf Masse liegt. In diesem Fall wird der Monoflop 36 nicht angesteuert, so daß das Schaltglied 28d mit dem Schaltkontakt 28b verbunden bleibt.

Tritt jedoch während der Verzögerungszeit der Verzögerungsleitung 33 ein Signalzusammenbruch im Sensorsignal M auf so ist das verzögerte Sensorsignal M' (früheres Sensorsignal) wesentlich größer als das spätere Sensorsignal M. Die Subtrahierstufe 34 liefert daher ein relativ hohes Ausgangssignal zum positiven Eingang des Komparators 35, so daß dessen Ausgangssignal die Schwelle des Monoflops 36 überschreitet und der Monoflop 36 angesteuert wird. Mit Hilfe des Ausgangssignals des Monoflops 36 wird jetzt das Schaltglied 28d des Schalters 28 mit dem Schaltkontakt 28c verbunden, um die Motorstellung bzw. Position des Bearbeitungskopfs einzufrieren. Der Monoflop 36 und damit der Schalter 28 werden nach der genannten einstellbaren Zeit automatisch zurückgeschaltet, damit die Abstandsregelung fortgesetzt werden kann.

Die Verzögerungszeit der Verzögerungsleitung 33 wird so eingestellt, daß nur schnelle Änderungen des Meßsignals durch Störungen, wie sie z. B. durch Plasma oder Spritzer erzeugt werden, zur Triggerung des Monoflops 36 führen, also zum Stillstand des Motors 30. Bei Schweißvorgängen beträgt die Verzögerungszeit z. B. 10 ms.

Durch Änderung der Referenzspannung des Komparators 35 läßt sich die Schwelle des Komparators 35 so einstellen, daß die Differenz des aktuellen und des verzögerten Meßsignals bei Störungen zur Triggerung des Monoflops 36 führt (Höhe bzw. Stärke der Störungen). Hierdurch ist ein Abgleich auf spezielle Störungen des Meßsignals möglich.

Eine weitere Schaltungsanordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in der Fig. 7 gezeigt. Gleiche Elemente wie in Fig. 5 sind mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Insbesondere kann auch

der Störungsdetektor 32 in Fig. 7 den in Fig. 6 gezeigten Aufbau aufweisen.

Im Unterschied zur Schaltungsanordnung nach Fig. 5 ist bei der Schaltungsanordnung nach Fig. 7 der Ausgang der Abstandsregleinrichtung 27 direkt mit dem Eingang des Servoverstärkers 29 verbunden. Demgegenüber liegt der Schalter 28 am Eingang der Abstandsregelschaltung 27. Genauer gesagt ist der Schaltkontakt 28a des Schalters 28 mit dem Eingang der Abstandsregelschaltung 27 verbunden, während der Schaltkontakt 28c mit dem Ausgang der Sensoreinheit 25 verbunden ist. Der Schaltkontakt 28b des Schalters 28 ist mit dem Ausgang einer Filterschaltung 37 verbunden, deren Eingang mit dem Ausgang der Sensoreinheit 25 verbunden ist. Das bewegbare Schaltglied 28d wird über die Stellanrichtung 31 bewegt, um zwischen den Schaltkontakten 28b und 28c hin- und hergeschaltet zu werden. Die Stellanrichtung 31 wird wiederum vom Störungsdetektor 32 angesteuert.

Die Filterschaltung 37 weist eine extrem niedrige Grenzfrequenz auf, die z. B. bei 2 Hz liegen kann.

Wird durch den Störungsdetektor 32 eine Störung im Sensorsignal M detektiert, wie zuvor beschrieben, so wird für eine wählbare Zeit die zusätzliche Filterschaltung 37 hinter die Sensoreinheit 25 geschaltet, um die Störung im Sensorsignal M zu überbrücken. Hierzu wird das bewegbare Schaltglied 28 d des Schalters 28 vom Schaltkontakt 28c auf den Schaltkontakt 28b umgeschaltet. Die vorwählbare Zeit steht auch hier wiederum in Übereinstimmung mit der Dauer der typischerweise auftretenden Störungen und läßt sich im voraus ermitteln.

Die Schaltungsanordnung nach Fig. 7 kommt vor allem dann zum Einsatz, wenn ein Eingriff auf die Abstandsregelung, wie dies in Fig. 5 dargestellt ist, nicht möglich ist. Bei der Schaltungsanordnung nach Fig. 7 wirkt vielmehr die Störungskompensation direkt auf das Sensorsignal M bzw. die Abstandsmeßspannung ein.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur kapazitiven Messung des Abstands zwischen einem Werkstück (2, 3) und einem Bearbeitungskopf (1; 18) unter Verwendung einer am Bearbeitungskopf (1; 18) angebrachten Sensorelektrode (11; 13; 21; 26) zur Lieferung eines dem Abstand entsprechenden Sensorsignals (M), dadurch gekennzeichnet, daß

- ein späterer Sensorsignalwert ( $M_{i+1}$ ) mit einem Vergleichswert (V) verglichen wird, der unter Heranziehung eines früheren Sensorsignalwerts ( $M_i$ ) gebildet worden ist,
- ein dem Vergleichswert (V) entsprechender Abstandswert wenigstens annähernd beibehalten wird, wenn der spätere Sensorsignalwert ( $M_{i+1}$ ) um mehr als einen vorbestimmten Betrag (S) kleiner ist als der Vergleichswert (V), und
- ansonsten die Ermittlung des Abstandswerts anhand des späteren Sensorsignalwerts ( $M_{i+1}$ ) erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsignal (M) zur Bildung der Sensorsignalwerte ( $M_i$ ,  $M_{i+1}$ ) in periodischen Zeiträumen (t) abgetastet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Sensorsignalwert ( $M_i$ ,  $M_{i+1}$ ) der Maximalwert in den jeweiligen periodischen Zeit-

räumen ( $\Delta t$ ) herangezogen wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung des Vergleichswerts (V) aufeinanderfolgende Sensorsignale ( $M_i, M_{i+1}$ ) gemittelt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleichswert (V) nur durch den jeweils früheren Sensorsignale ( $M_i$ ) gebildet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein beizubehaltender Abstandswert über mehrere der periodischen Abtastzeiträume ( $t$ ) beibehalten wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der vorbestimmte Betrag (S) für aufeinanderfolgende der mehreren Abtastzeiträume ( $t_i, t_{i+1}$ ) schrittweise vergrößert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsignal (M) einer Tiefpaßfilterung unterzogen wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsignal (U) dadurch erzeugt wird, daß zwischen der Sensorelektrode (11; 13; 21; 26) und dem Werkstück (2, 3) verlaufende elektrische Feldlinien (12; 16) unmittelbar seitlich an einem Werkstück-Bearbeitungsbereich vorbeigeführt werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein unmittelbar oberhalb des Werkstück-Bearbeitungsbereichs liegender Bereich des Bearbeitungskopfs (1; 18) durch ein Schirmpotential abgeschirmt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsignal (M) durch elektrische Feldlinien (12) erzeugt wird, die haubenartig relativ zum Werkstück-Bearbeitungsbereich verlaufen.

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsignal (M) durch elektrische Feldlinien (13) erzeugt wird, die hohlzylinderartig relativ zum Werkstück-Bearbeitungsbereich verlaufen.

13. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsignal (M) durch elektrische Feldlinien an einer Stelle erzeugt wird, die in Bewegungsrichtung (B) des Bearbeitungskopfs (18) gesehen vor dem Werkstück-Bearbeitungsbereich liegt.

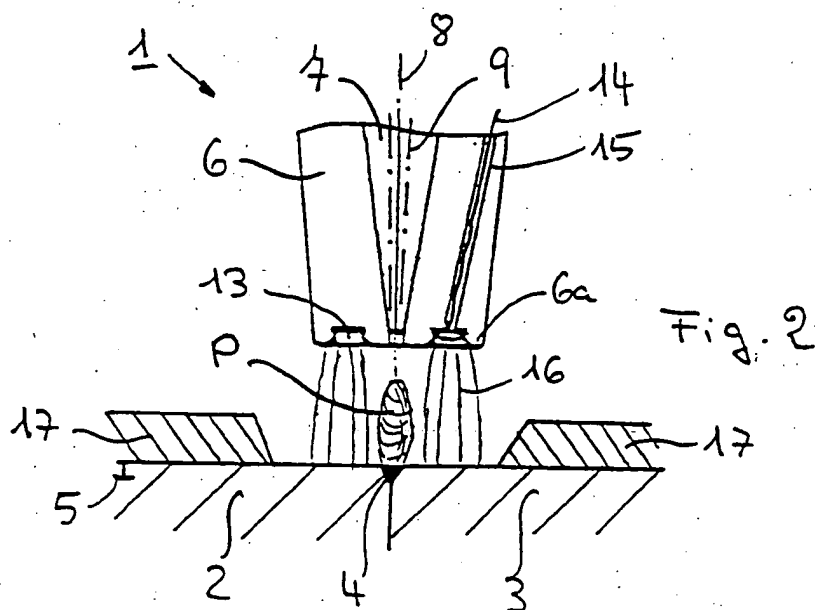
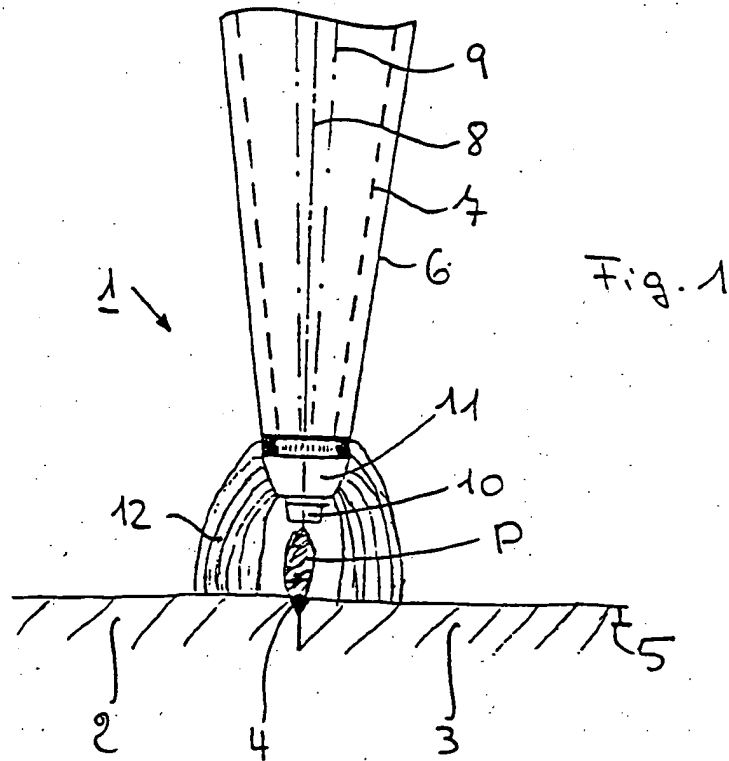
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß Abstandsmessung und Werkstückbearbeitung einander abwechselnd wiederholt ausgeführt werden.

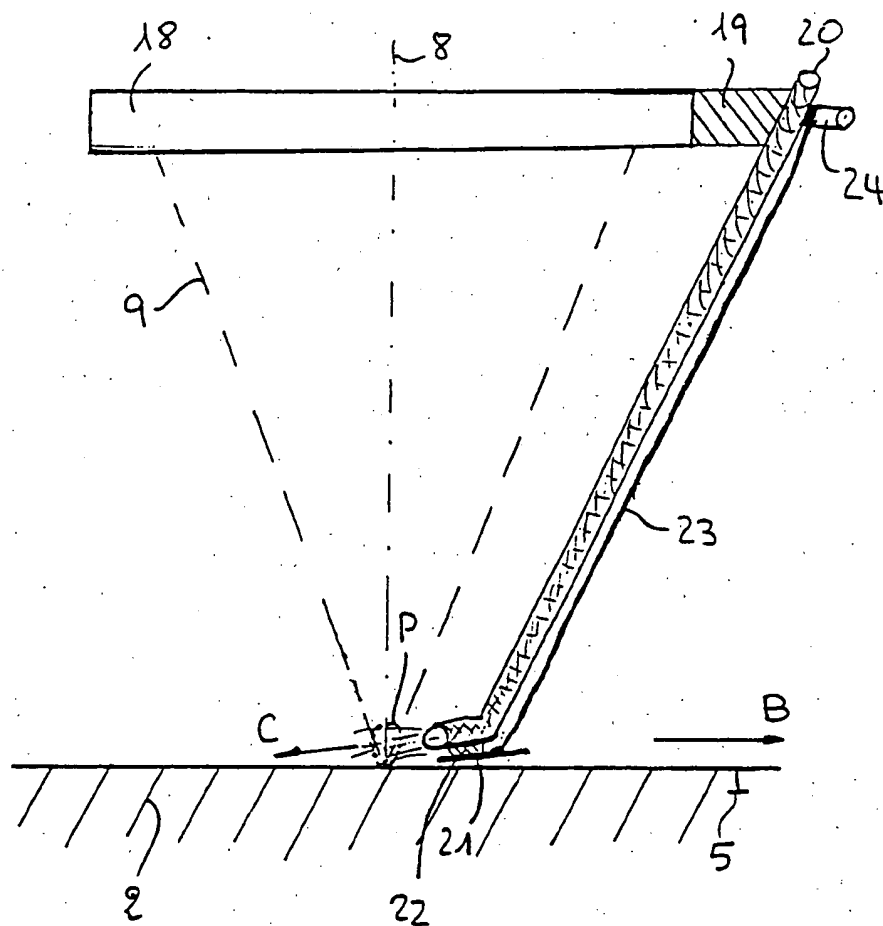
Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65





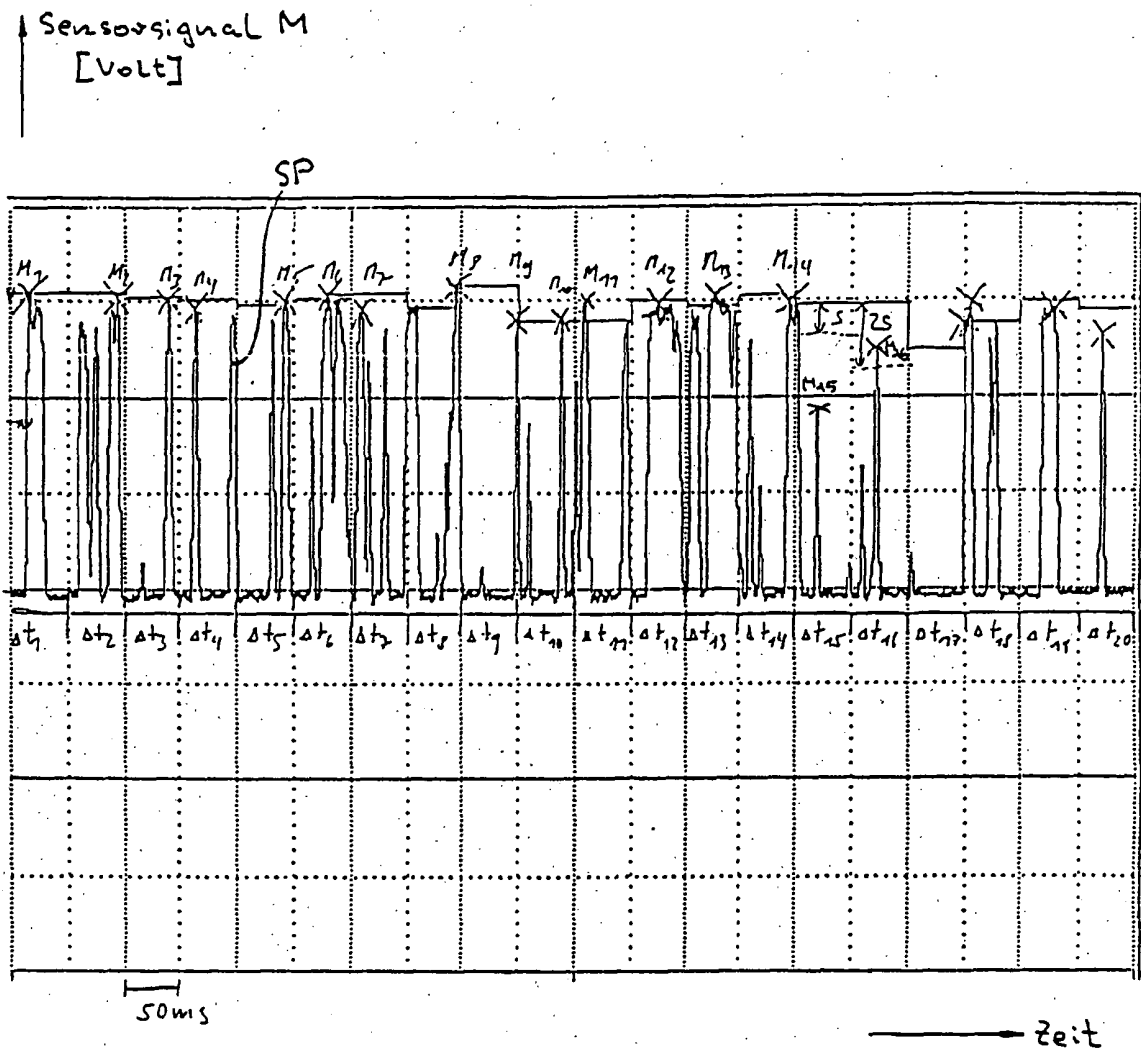


Fig. 4

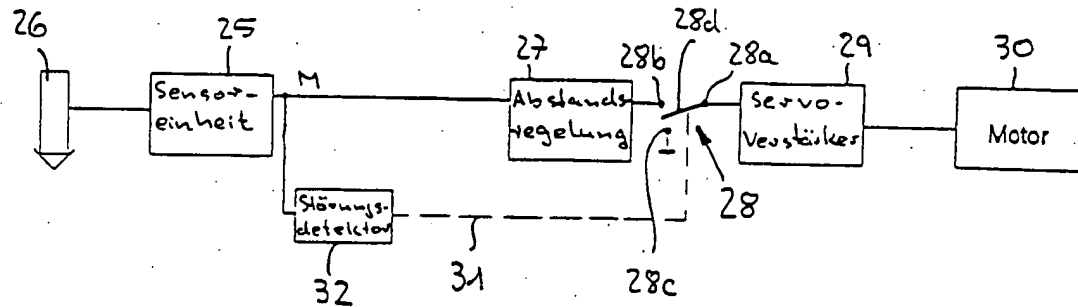


Fig. 5

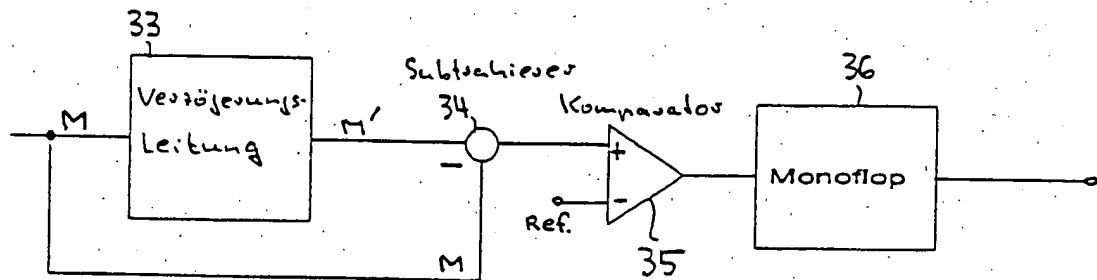


Fig. 6

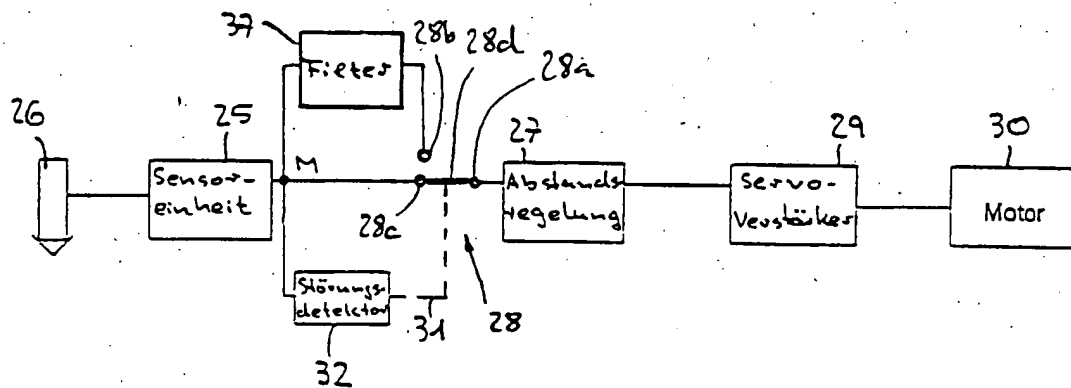


Fig. 7

**Three-dimensional contoured surface probe - supports measuring probe by vertical Z=axis linear bearing via elastic spring rod which provides resetting force towards rest position aligned with Z=axis**

Veröffentlichungsnr. (Sek.) DE4231989  
Veröffentlichungsdatum : 1994-01-20  
Erfinder : BECKER MANFRED (DE); RECK MATTHIAS (DE)  
Anmelder :: DATRON ELECTRONIC GMBH (DE)  
Veröffentlichungsnummer : ☐ DE4231989  
Aktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19924231989 19920924  
Prioritätsaktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19924231989 19920924; DE19924226794 19920813  
Klassifikationssymbol (IPC) : G01B21/30 ; G01B7/14 ; G01B7/03 ; G01D5/244 ; G12B17/02 ; B23Q17/20  
Klassifikationssymbol (EC) : G01B5/012, G01B7/012, G01D5/20B1, G01D5/24F  
Korrespondierende Patentschriften

---

**Bibliographische Daten**

---

The scanner uses a rod-shaped measuring probe (18) which is movable at its free end (18a) in three perpendicular coordinate directions (X,Y,Z) in correspondence to the contoured surface, with its movement converted into position signals via transducers.

The opposite end of the probe is supported in a linear bearing (16) via a flexure spring (20) in the form of a cylindrical rod of a elastic material, providing a resetting force holding it in a rest position in which its longitudinal axis coincides with the axis along which the linear bearing is displaced.

USE/ADVANTAGE - For workpiece measurement and positioning. Small construction and substitutes bearings for X and Y directions with simple suspension in form of spring.

---

Daten aus der **esp@cenet** Datenbank - - I2





Fig.7

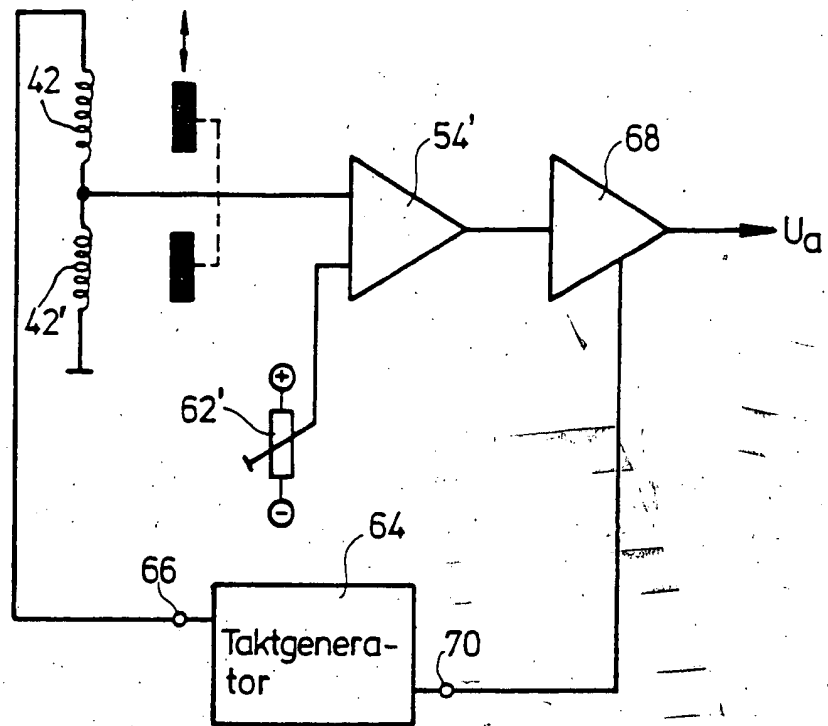


Fig.8

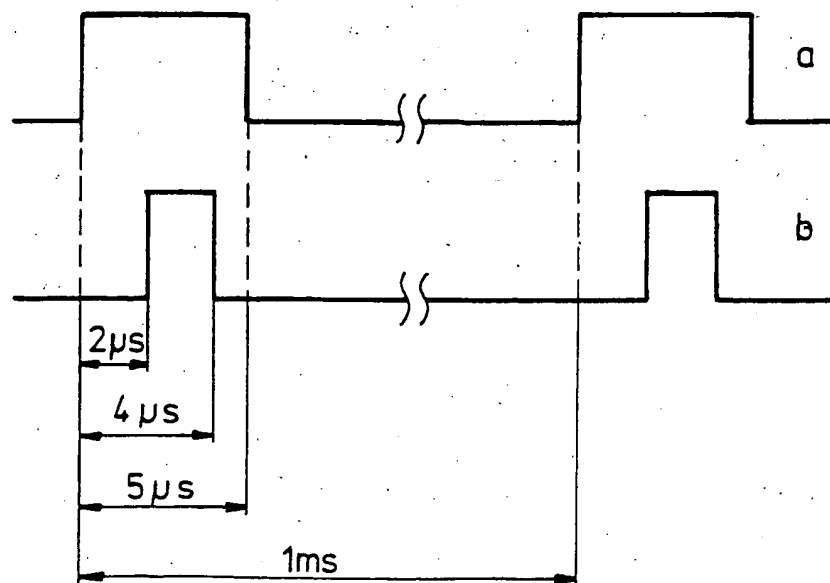


Fig.6a

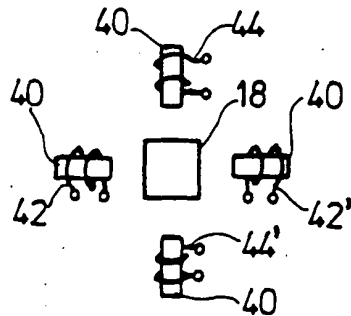


Fig.6b

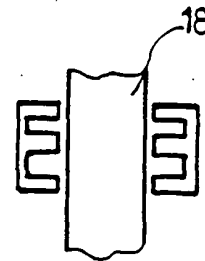


Fig.6c

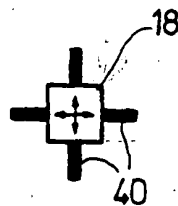


Fig.6d

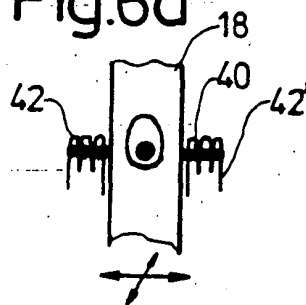


Fig.6e

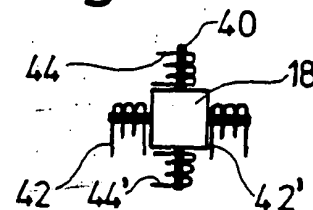


Fig.6f

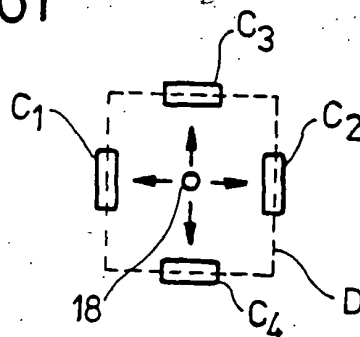
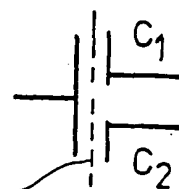


Fig.6g





19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 42 31 989 C 1

51 Int. Cl. 5:  
G 01 B 21/30  
G 01 B 7/14  
G 01 B 7/03  
G 01 D 5/244  
G 12 B 17/02  
B 23 Q 17/20

21 Aktenzeichen: P 42 31 989.7-52  
22 Anmeldetag: 24. 9. 92  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 20. 1. 94

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

30 Innere Priorität: 32 33 31  
13.08.92 DE 42 26 794.3

73 Patentinhaber:  
Datron-Electronic GmbH, 64367 Mühlthal, DE

74 Vertreter:  
Otte, P., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 71229 Leonberg

72 Erfinder:  
Becker, Manfred, 6105 Ober-Ramstadt, DE; Reck,  
Matthias, 6109 Mühlthal, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	38 42 032 C1
DE	39 06 408 A1
DE	38 30 806 A1
DE	38 28 713 A1
DE	38 26 581 A1
DE	38 08 548 A1
DE	37 40 657 A1

54 Abtastvorrichtung für konturierte Oberflächen

57 Die Erfindung betrifft eine Abtastvorrichtung zum berührenden Abtasten einer konturierten Oberfläche. Eine stabförmige Meßsonde, die in Z-Richtung mittels eines Linearlagers linear beweglich geführt ist, ist an ihrem, dem freien Ende gegenüberliegenden Ende mittels einer Aufhängung derart beweglich mit dem Linearlager verbunden, daß sie im unbelasteten Zustand durch Rückstellkräfte in einer Lage gehalten wird, in der ihre Längsachse in Richtung der Z-Achse verläuft, und daß sie bei einem Abtastvorgang senkrecht zu ihrer Z-Richtung verlaufenden Längsachse in X- und Y-Richtung auslenkbar ist.

DE 42 31 989 C 1

DE 42 31 989 C 1

## Stand der Technik

Die Erfindung betrifft eine Abtastvorrichtung zum berührenden Abtasten einer konturierten Oberfläche gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Eine gattungsgemäße Abtastvorrichtung ist beispielsweise aus der DE 37 40 657 A1 bekannt und dient zum Erstellen digitaler Datensätze, welche die Konturen von dreidimensionalen Gebilden bzw. Modellen oder Oberflächen beschreiben und später beispielsweise zum programmgesteuerten Betrieb einer Fräsmaschine zur Herstellung entsprechender Werkstücke bzw. Oberfläche verwendet werden können.

Abtastvorrichtungen der betrachteten Art können auch zum Bestimmen der Lage eines Werkstücks auf einer Werkzeugmaschine und zum anschließenden Positionieren des Werkstücks anhand der bei der Abtastung gewonnenen Daten dienen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, anhand der Positionsdaten, die mit Hilfe einer Abtastvorrichtung gewonnen werden, die Maßhaltigkeit eines bearbeiteten Werkstücks zu prüfen und Werkzeug- und Maschinenabweichungen zu erkennen und ggf. zu korrigieren.

Bei den bekannten Abtastvorrichtungen ist die Meßsonde mittels dreier voneinander unabhängiger, die Meßsonde in jeweils einer Koordinatenrichtung spielfrei führenden Linearlageranordnungen gehalten, wobei für jede Koordinatenrichtung ein eigener Linearwandler, beispielsweise in Form einer der bekannten Längenmeßeinrichtungen, vorgesehen ist, um für die betreffende Koordinatenrichtung auswertbare Positionssignale zu erzeugen.

Die bekannten Abtastvorrichtungen sind einerseits sehr genau und arbeiten mit einer Auflösung im Bereich von etwa 1 µm. Andererseits sind die bekannten Abtastvorrichtungen im Hinblick auf den komplizierten Aufbau ihres Meßsystems aber auch sehr teuer und empfindlich, insbesondere auch hinsichtlich der erforderlichen Auswerteinrichtungen, mit denen bei der angegebenen, hohen Abtastgenauigkeit, beispielsweise beim spurenweisen Abtasten einer Freiformfläche, bei zeitlich befriedigender Vorschubgeschwindigkeit der Meßsonde ungeheure Datenmengen verarbeitet werden müssen.

Ausgehend vom Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine hinsichtlich ihres Meßsystems vereinfachte und damit billigere, aber dennoch mit guter Genauigkeit arbeitende Abtastvorrichtung anzugeben.

Diese Aufgabe wird bei einer gattungsgemäßen Abtastvorrichtung gemäß der Erfindung durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 gelöst.

Es ist ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Abtastvorrichtung, daß ihr Meßsystem mit der Meßsonde und den zugehörigen Wandlern relativ klein und preiswert aufgebaut werden kann, da die bisher üblichen Linearlageranordnungen für die X-Richtung und die Y-Richtung durch eine einfache Meßsondenaufhängung in Form einer einseitig eingespannten Biegefeder ersetzt werden, die selbst die erforderlichen Rückstellkräfte erzeugt.

Vorzugsweise sind die Wandler für die Erzeugung der Positionssignale für die X- und die Y-Richtung erfindungsgemäß als berührungslos arbeitende X-, Y-Wand-

ler ausgebildet, insbesondere als nach dem Wirbelstromverfahren arbeitende Wandler oder auch als Wandler, welche, ähnlich wie induktive Näherungsschalter, auf Induktivitätsänderungen bzw. Kapazitätsänderungen in Abhängigkeit von einer Auslenkung der Meßsonde in X-Richtung bzw. Y-Richtung ansprechen.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist es vorteilhaft, wenn einerseits die Meßsonde im Bereich der X-, Y-Wandler und andererseits die X-, Y-Wandler derart ausgebildet sind, daß die von diesen Wandlern erzeugten Positionssignale jeweils linear mit der Position bzw. der Auslenkung der Meßsonde in X-Richtung und in Y-Richtung verknüpft sind.

Als vorteilhaft hat es sich dabei erwiesen, wenn die X- und Y-Wandler zueinander senkrechte, der Meßsonde zugewandte Sensorflächen aufweisen und wenn die Meßsonde im Bereich der Sensorflächen zu diesen parallele, zueinander senkrechte Außenflächen aufweist.

Vorzugsweise weist die Meßsonde im Bereich der X-, Y-Wandler einen rechteckigen Querschnitt und paarweise parallel zueinander verlaufende Außenflächen auf, während der X-Wandler und der Y-Wandler jeweils zwei Meßsysteme aufweisen, die einander und den zugeordneten Außenflächen der Meßsonde paarweise gegenüberliegen. Auf diese Weise ergibt sich nämlich der Vorteil, daß die Positionssignale für die X-Koordinate und die Positionssignale für die Y-Koordinate völlig unabhängig voneinander sind, wobei die jeweils zwei Meßsysteme pro Koordinatenrichtung bei einer Auslenkung der Meßsonde in dieser Richtung gegensinnig beeinflusst werden, wodurch eine Reihe von Kompensationseffekten erreicht wird, auf die weiter hinten noch näher eingegangen werden wird.

Bezüglich des konstruktiven Aufbaus der Abtastvorrichtung hat es sich in Ausgestaltung der Erfindung als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn die Aufhängung für die Meßsonde und die Wandler für die Meßsondenbewegungen in den drei zueinander senkrechten Koordinaten X, Y und Z an einem gemeinsamen Träger befestigt sind, welcher mit Hilfe des für die Z-Achse vorgesehenen Linearlagers längs einer Schiene in Z-Richtung verfahrbar ist, daß das gesamte Meßsystem in eine Ruhelage anhebbare und in eine Arbeitsposition absenkbar ist.

Für das Anheben und Absenken des Meßsystems ist dabei vorzugsweise eine eigene Hubvorrichtung, insbesondere eine Hubvorrichtung mit einem Spindeltrieb, vorgesehen, die insbesondere derart lösbar mit dem schiffenförmigen Träger gekoppelt ist, daß dieser für die Durchführung einer Abtastung bzw. Messung in eine durch einen Anschlag definierte Nullstellung absenkbar ist, in der er von der Hubvorrichtung vollständig entkoppelt ist.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden nachstehend anhand von Zeichnungen noch näher erläutert und/oder sind Gegenstand der Ansprüche. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 eine schematische, perspektivische Darstellung des Meßsystems einer Abtastvorrichtung gemäß der Erfindung;

Fig. 2 eine schematische Detaildarstellung des Meßsystems gemäß Fig. 1 in seiner Arbeitsposition;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer X-, Y-Wandleranordnung für ein Meßsystem gemäß Fig. 1 und 2;

Fig. 4 ein schematisches Blockschaltbild zur weiteren Erläuterung der Funktion der Wandleranordnung gemäß Fig. 3;

Fig. 5 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Wirkung einer Auslenkung der Meßsonde in X- oder Y-Richtung auf die Größe des in Z-Richtung gemessenen Positionswertes;

Fig. 6a—g schematische Darstellungen zur Erläuterung des Arbeitsprinzips unterschiedlicher Typen von X-, Y-Wandlern;

Fig. 7 ein schematisches Blockschaltbild zur Erläuterung der Funktion einer gegenüber der Wandleranordnung gemäß Fig. 3 abgewandelten Wandleranordnung; und

Fig. 8 ein Impulsdiagramm zur weiteren Erläuterung der Funktion der in Fig. 7 gezeigten Schaltung.

Im einzelnen zeigt Fig. 1 ein erfindungsgemäßes Meßsystem, bei dem im Inneren eines äußeren Schutzgehäuses 10 eine feststehende Führungsschiene 12 befestigt ist. Längs dieser Schiene 12 ist ein kastenförmiger Träger 14 mittels spielfreier Linearkugellager 16 nach Art eines Schlittens in Richtung der senkrechten Koordinate, d. h. in Z-Richtung, verfahrbar. An einer oberen Stirn- bzw. Endfläche 14a ist eine stabförmige Meßsonde 18 mittels einer Aufhängung befestigt, die beim Ausführungsbeispiel durch eine stabförmige Biegefeder 20 gebildet wird. Die Biegefeder 20 gestattet eine Auslenkung der Meßsonde 18 quer zu deren in Z-Richtung verlaufender Längsachse, d. h. in X-Richtung und Y-Richtung. Die Meßsonde 18 besitzt in ihrem Hauptteil einen rechteckigen bzw. quadratischen Querschnitt und verjüngt sich an ihrem unteren Ende zu einem Stab, an dem eine Abtastkugel 18a vorgesehen ist.

Das Meßsystem ist in Fig. 1 in seiner Ruhestellung gezeigt, in der sich seine empfindlichen Komponenten alle im Inneren des Schutzgehäuses 10 befinden. Das Absenken des Meßsystems in seiner Arbeitsstellung und das Zurückführen desselben in seine in Fig. 1 gezeigte Ruhestellung erfolgen mittels einer Hubvorrichtung 22, die beim Ausführungsbeispiel durch einen Spindeltrieb realisiert ist, welche eine in Z-Richtung bzw. vertikal verlaufende Schnecke 24 aufweist, die an ihrem unteren Ende mittels eines Kugellagers 26 drehbar gelagert ist und die an ihrem gegenüberliegenden, oberen Ende von einem umsteuerbaren Motor 28 zu einer Drehbewegung antreibbar ist. Auf der Spindel 24 sitzt ein nach Art einer Spindelmutter ausgebildeter Hubarm 30, der beispielsweise durch ein Langloch (nicht gezeigt) in der Wand des Schutzgehäuses 10 gegen eine Drehung gesichert ist und der bei einem Hubvorgang und bei in seiner Ruhestellung befindlichem Meßsystem an der Unterseite einer unteren Endfläche 14b des Trägers 14 anliegt. Beim Absenken des Trägers 14 in die Arbeitsstellung des Meßsystems gelangt die untere Endfläche in Kontakt mit einem als Anschlag dienenden, federnden Druckstück 32, welches die Nullstellung des Trägers 14 und damit der Meßsonde 18 in Z-Richtung definiert.

Entsprechende federnde Druckstücke (nicht gezeigt) sind vorzugsweise am Boden des Trägers 14 montiert, um die Auslenkbewegungen der Meßsonde 18 in X-Richtung und Y-Richtung zu begrenzen und ggf. Schwingungen der Meßsonde 18 zu dämpfen.

Die Hubvorrichtung 22 ist so ausgebildet, daß der Hubarm 30 nach dem Auftreffen des Trägers 14 auf das federnde Druckstück 32 noch etwas weiter abgesenkt wird, so daß der Träger 14 vollständig von der Hubvorrichtung 22 entkoppelt wird.

An einer senkrechten Wandfläche 14c ist ein Linearpotentiometer 34 befestigt, dessen Betätigungselement über die untere Endfläche 14b des Trägers 14 vorsteht und an diesem überstehenden Ende einen Magneten 36

trägt, der an einem Bereich 38 aus magnetischem oder magnetisierbarem Material am Boden des Schutzgehäuses 10 magnetisch lösbar festgelegt ist, wenn sich das Meßsystem in seiner Arbeitsstellung befindet. Das Linearpotentiometer 34 und dessen Betätigungselement bzw. die damit zusammenwirkende Magnetanordnung 36, 38 werden dabei elektronisch mittels eines Trimpotentiometers derart justiert, daß sich bei unbelasteter Meßsonde am Ausgang des Potentiometers 34 das Positionssignal NULL ergibt.

Bei dem betrachteten Meßsystem stellt das Linearpotentiometer den Signalwandler für die Bewegungen der Meßsonde 18 in Z-Richtung dar. Die Bewegungen der Meßsonde 18 in Richtung der X-Koordinate und der Y-Koordinate — bei diesen Bewegungen handelt es sich um relativ kleine Auslenkbewegungen der Meßsonde 18 bezüglich ihrer in Z-Richtung verlaufenden Längsachse — werden mit Hilfe eines X-Wandlers bzw. eines Y-Wandlers erfaßt, wobei jeder dieser Wandler jeweils zwei separate Meßeinheiten aufweist, die paarweise auf gegenüberliegenden Seiten, genauer gesagt, angrenzend an einander gegenüberliegende Seitenflächen der Meßsonde 18, angeordnet sind. Im Interesse einer verbesserten Übersichtlichkeit der schematischen Darstellung gemäß Fig. 1 sind dort von dem X-Wandler und dem Y-Wandler lediglich die E-förmigen Kerne 40 der einzelnen Meßspulen gezeigt. Auf den Aufbau der X-, Y-Wandler wird weiter unten noch näher eingegangen.

Fig. 2 zeigt eine stark schematisierte Darstellung des Meßsystems gemäß Fig. 1 in seiner Arbeitsstellung. Man erkennt, daß der Träger 14 mit der Unterseite seines Bodens auf dem federnden Druckstück 32 aufliegt und daß der Magnet 36 des Betätigungselementes des Linearpotentiometers 34 magnetisch am Boden des Schutzgehäuses festgelegt ist. Der Hubarm 30 ist in seiner unteren Endstellung unterhalb des Trägers 14 mit gestrichelten Linien angedeutet. Die Meßsonde 18 durchgreift eine dafür vorgesehene Öffnung 42 im Boden des Schutzgehäuses 10, so daß die Meßsonde 18 mit der an ihrem freien Ende vorgesehenen Kugel 18a eine abzutastende, konturierte Oberfläche frei erfassen kann.

Fig. 3 zeigt in Form eines schematischen Prinzipschaltbildes die Anordnung und Ausbildung des X-Wandlers und des Y-Wandlers bei Messung der Auslenkung der Meßsonde 18 in X-Richtung bzw. Y-Richtung, und zwar für ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel, bei dem jeder Wandler jeweils zwei Meßeinheiten mit jeweils einer auf einen Ferritkern 40 gewickelten Spule 42, 42' und 44, 44' aufweist. Die Spulen 42, 42' mit ihren zugehörigen Ferritkernen 40 bilden dabei den X-Wandler 50, während die Spulen 44, 44' mit ihren Ferritkernen 40 den Y-Wandler 52 bilden. Die Spulen 42, 42' und die Spulen 44, 44' sind jeweils in Reihe geschaltet und werden vom Ausgang eines Oszillators mit einer hochfrequenten Wechselspannung gespeist, die beispielsweise in einem Frequenzbereich von 20 bis 100 kHz liegen kann. Das Meß- oder Positionssignal für die X-Richtung steht dabei an einem Wandlerausgang A zur Verfügung, der an den Verbindungspunkt der beiden in Reihe geschalteten Spulen 42, 42' angeschlossen ist. Das Meß- bzw. Positionssignal für die Y-Richtung steht an einem Ausgang B zur Verfügung, der an den gemeinsamen Verbindungspunkt der Spulen 44, 44' angeschlossen ist. Im übrigen sind die Reihenschaltungen der beiden Spulenpaare 42, 42'; 44, 44' parallel zueinander zwischen den Ausgang des Oszillators OSZ und Bezugspotential geschaltet.

Bei den als Ausführungsbeispiel betrachteten Wand-

lern 50, 52 handelt es sich um Wandler, die nach dem Wirbelstrom-Abstandsverfahren arbeiten, die auf dem folgenden Prinzip beruhen:

Der hochfrequente Wechselstrom in einer Spule, speziell in einer mit einem Magnetkern bzw. einem Ferritkern versehenen Spule, führt zu einem hochfrequenten, magnetischen Wechselfeld, welches bei geeigneter Ausgestaltung des Kerns beispielsweise als Topfkern oder, wie in Fig. 1 angedeutet, als E-förmigem Kern auf der offenen Seite des Kerns im Bereich einer sogenannten Sensorfläche konzentriert ist. Wenn dieser Sensorfläche ein Element aus elektrisch leitendem, nicht magnetisierbarem Material, wie z. B. Messing oder auch Aluminium, gegenüberliegt, dann werden in diesem Material, speziell in einem oberflächennahen Bereich, durch das magnetische Wechselfeld elektrische Wirbelströme hervorgerufen, die ihrerseits ein magnetisches Gegenfeld erzeugen, welches dem Magnetfeld der Spule entgegenwirkt, wodurch sich die Induktivität der Spule bzw. der Kern/Spulen-Anordnung scheinbar verringert und damit auch deren Impedanz, und zwar in Abhängigkeit vom Abstand des elektrisch leitenden Materials von der Sensorfläche.

In dem als Ausführungsbeispiel betrachteten Fall gemäß Fig. 3 bilden die beiden Spulen jedes der Wandler 50, 52 jeweils einen Spannungsteiler, dessen Symmetrie durch die Auslenkung der in diesem Fall aus einem elektrisch leitenden, unmagnetischen Material bestehenden Meßsonde 18 gestört wird. Beispielsweise führt eine Auslenkung der Meßsonde 18 in +X-Richtung — d. h. in Fig. 3 nach rechts — unter der Voraussetzung, daß über den beiden Spulen 42, 42' zunächst dieselbe Spannung abfällt, dazu, daß die Spannung über der Spule 42' kleiner und die Spannung über der Spule 42 größer wird. Es ergibt sich also ein von dem ursprünglichen Spannungs-Übersetzungsverhältnis von 1:1 abweichendes Spannungs-Übersetzungsverhältnis und eine entsprechende Spannungsänderung am Ausgang A, wo für den betrachteten Fall nunmehr eine höhere Spannung ansteht. In entsprechender Weise führt eine Auslenkung der Meßsonde 18 in -X-Richtung — in Fig. 3 nach links — zu einer kleineren Spannung über der Spule 44 und damit zu einer niedrigeren Spannung am Signalausgang A. Eine Auslenkung der Meßsonde 18 in Y-Richtung hat entsprechende Änderungen der Spannung am Ausgang B des Y-Wandlers 52 zur Folge. Durch die ebenen, paarweise rechtwinklig zueinander verlaufenden Außenflächen der Meßsonde 18 ist dabei außerdem — anders als beispielsweise bei einem runden Meßstab mit gekrümmter Oberfläche — im Rahmen der bei dem Meßsystem zulässigen Auslenkbewegungen eine völlige Unabhängigkeit der Meß- bzw. Positionssignale für die X-Richtung und die Y-Richtung gewährleistet.

Gemäß Fig. 4 der Zeichnung wird ausgehend von dem anhand von Fig. 3 erläuterten Meßprinzip so vorgegangen, daß an der Reihenschaltung der Wandler spulen 42, 42' einerseits die Oszillatorspannung  $U_{os}$  und andererseits eine Spannung  $U'_{os}$  anliegt, wobei  $U'_{os} = 0,6 \times U_{os}$  gilt ( $U_{os}$  ist dabei die invertierte Oszillatorspannung).

Das Signal vom Abgriff zwischen den beiden Spulen 42, 42', d. h. das Signal vom Wandlerausgang A wird dem einen Eingang eines Operationsverstärkers 54 zugeführt, dessen anderer Eingang an Bezugspotential liegt. Das Ausgangssignal des Operationsverstärkers 54 wird mit Hilfe eines Gleichrichters 56 gleichgerichtet. Die wellige Gleichspannung vom Ausgang des Gleichrichters 56 wird durch einen Tießpaß 58 geglättet und

dem einen Eingang eines weiteren Operationsverstärkers 60 zugeführt, dessen zweitem Eingang eine mit Hilfe eines Potentiometers einstellbare Bezugsspannung zugeführt wird und der eine analoge Ausgangsspannung  $U_a$  liefert, deren Pegel durch Einstellen der Bezugsspannung an dem Potentiometer 62 auf einen für die weitere Verarbeitung der Spannung  $U_a$ , insbesondere für die Digitalisierung derselben, geeigneten Pegel gebracht werden kann.

Die mit Hilfe der Wandler- bzw. Meßeinrichtungen gemäß Fig. 3 und 4 gewonnenen analogen Spannungen — die Spannung vom Wandlerausgang B des Wandlers 52 kann in ähnlicher Weise aufbereitet werden, wie dies vorstehend für die Spannung vom Wandlerausgang A erläutert wurde — sind trotz des relativ einfachen Aufbaus des erfindungsgemäßen Meßsystems bezüglich der Genauigkeit, mit der die X-Position und die Y-Position erfaßt werden, relativ genau, wie dies nachstehend anhand von Fig. 5 erläutert wird.

In Fig. 5 bezeichnet die Strecke l die Länge der Meßsonde 18 in Z-Richtung. Wenn nun die Meßsonde 18 bzw. deren die Meßkugel 18a tragendes freies Ende in X-Richtung um die Strecke  $\Delta x$  ausgelenkt wird, was einem Auslenkwinkel  $\alpha$  entspricht, dann ergibt sich für die Z-Richtung eine Abweichung  $\Delta l$ . Unter der Voraussetzung, daß die Länge l der Meßsonde 18 = 200 mm beträgt und daß die Auslenkung  $\Delta x$  in X-Richtung 2 mm beträgt — diese Werte sind für ein in der Praxis verwirklichtes Meßsystem realistisch — ergibt die nachfolgende Berechnung, daß der Meßfehler bzw. die Abweichung  $\Delta l$  nur etwa 1/100 mm beträgt:

$$\alpha \approx \arcsin \frac{\Delta x}{l} \approx 0,57^\circ$$

$$l = 200 \text{ mm} \quad \Delta x = 2 \text{ mm}$$

$$\Delta l = l (1 - \cos \alpha) \approx 1/100 \text{ mm}$$

Die Meßgenauigkeit der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung liegt damit in einem für viele Anwendungen brauchbaren Genauigkeitsbereich, ohne daß ein übermäßiger technischer Aufwand betrieben werden müßte, wie dies bei den bekannten, mit höherer Auflösung arbeitenden Abtastvorrichtung der Fall ist.

Während vorstehend anhand von Fig. 3 und 4 als bevorzugte Wandleranordnung für die X-, Y-Wandler einer erfindungsgemäßen Abtastvorrichtung Wandleranordnungen beschrieben wurden, die nach dem Wirbelstromverfahren arbeiten, sollen nachstehend anhand von Fig. 6 noch weitere Möglichkeiten für die Ausgestaltung der X-, Y-Wandler erläutert werden.

Zunächst ist in Fig. 6a noch einmal schematisch ein nach den Wirbelstromverfahren arbeitendes Wandlerpaar mit den Magnetkernen 40 und den vier Spulen 42, 42'; 44, 44' dargestellt. Zu dieser Wandlervariante ist in Fig. 6b ein Teilstück der einen rechteckigen Querschnitt aufweisenden Meßsonde 18 gezeigt, welcher auf (jeweils) zwei einander gegenüberliegenden Seiten Magnetkerne 40, insbesondere Ferritkerne, in Form von E-Kernen gegenüberliegen, wobei die offene Seite der E-Kerne 40, die ggf. durch Topfkern ersetzt werden können, den benachbarten Flächen der Meßsonde 18 gegenüberliegt und die "Sensorfläche" der betreffenden Wandereinheit bilden. Gemäß Fig. 6c bis 6e können Wirbelstromwandler gemäß Fig. 6a und 6b durch induktive Wandler ersetzt werden, wobei es sich als vorteil-

haft erwiesen hat, wenn die Wandler­spulen 42, 42'; 44, 44' ortsfest an dem Träger 14 montiert werden, während die zugehörigen Kerne 40 in Form runder Ferritstäbe in zugeordnete Bohrungen der Meßsonde 18 eingesetzt sind. Die Kerne 40 aber auch, wie dies in Fig. 6e schematisch angedeutet ist, zusammen mit den Spulen 42, 42'; 44, 44' ortsfest gegenüber der in X- und Y-Richtung auslenkbaren Meßsonde 18 montiert werden.

Für die mit den Wandlern gemäß Fig. 6c bis 6e erfaßten Induktivitätsänderungen, die die Verwendung einer Meßsonde 18 aus magnetisierbarem Material zur Voraussetzung haben, können gemäß einer abgewandelten Ausführungsform auch Differentialtransformatoren verwendet werden.

Weiterhin besteht gemäß Fig. 6f und 6g die Möglichkeit zum Erfassen der Auslenkung der Meßsonde 18 kapazitive Wandler zu verwenden, die nach dem Prinzip eines "Differentialkondensators" arbeiten, wobei jeweils der eine Belag, der in Fig. 6f gezeigten Kondensatoren C<sub>1</sub> bis C<sub>4</sub> durch eine ortsfest montierte Metallplatte gebildet wird, während der andere Belag durch die gegenüberliegende Oberfläche der Meßsonde 18 bzw. einen dort vorgesehenen Kondensatorbelag gebildet wird, wobei sich der Kapazitätswert der auf diese Weise gebildeten Kondensatoren C<sub>1</sub> bis C<sub>4</sub> in Abhängigkeit von der Position zwischen den Kondensatorbelägen ändert, und wobei, ähnlich wie bei den Wandlern gemäß Fig. 3 wieder jeweils zwei einander gegenüberliegende Kondensatoren C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> bzw. C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> in Reihe geschaltet werden können, wie dies in Fig. 6g angedeutet ist. Bezüglich der Ausgestaltung der Wandler für die X-Koordinate und die Y-Koordinate bestehen also verschiedene Möglichkeiten, ohne daß die vorstehend angesprochenen Möglichkeiten als abschließend angesehen werden sollten.

Abweichend von dem zuvor erläuterten Ausführungsbeispiel kann insbesondere die Differentialkondensatoranordnung auch in der Weise realisiert werden, daß jeweils beide Beläge der Kondensatoren C<sub>1</sub> bis C<sub>4</sub> ortsfest angeordnet werden und daß statt dessen das in Fig. 6f gestrichelt eingezeichnete Dielektrikum in X- bzw. Y-Richtung bewegt wird.

Weiterhin ist anzumerken, daß im Prinzip auch die Wandler 34, 50, 52 ortsfest angeordnet werden können, z. B. an der Unterseite des Schutzgehäuses 10, was allerdings mit dem Nachteil verbunden wäre, daß sich eine Bewegung des Trägers 14 in Z-Richtung geringfügig auf die für die Bewegungen in den beiden anderen Koordinatenrichtungen X und Y ermittelten Meßsignale auswirken würde.

Gemäß Fig. 7 besteht, ausgehend von der in Fig. 3 schematisch dargestellten Anordnung und Ausbildung des X-Wandlers und des Y-Wandlers, die Möglichkeit, jeden der beiden induktiven Wegaufnehmer für die X-Koordinate und die Y-Koordinate bei im Prinzip gleichem Wandleraufbau als induktiven Wegaufnehmer zu betreiben, dessen Spulen anstelle eines Oszillatorausgangssignals eine mit Hilfe eines geeigneten Taktgenerators 64 erzeugte Folge von Einzelimpulsen zugeführt wird. Im einzelnen erzeugt der Taktgenerator 64 an einem ersten Ausgang 66, der dem Oszillatoranschluß der Schaltung in Fig. 3 entspricht, eine erste Impulsfolge mit Rechteckimpulsen vorgegebener Impulsbreite, die den beiden in Serie geschalteten Spulen 42, 42' zugeführt werden. Der Mittelabgriff zwischen den beiden Spulen 42, 42' ist mit dem einen Eingang eines Operationsverstärkers 54' verbunden, der dem Operationsverstärker 54 in Fig. 4 entspricht, dessen Referenzspan-

nung an seinem zweiten Eingang jedoch mit Hilfe eines Potentiometers 62' einstellbar ist, welches, ähnlich wie das Potentiometer 62 in Fig. 4, der Einstellung des Pegels der Ausgangsspannung U<sub>a</sub> dient. Der Ausgang des Verstärkers 54' ist mit dem Eingang einer Abtast/Halte-Schaltung (Sample & Hold-Schaltung) 68 verbunden, an deren Ausgang die analoge Ausgangsspannung U<sub>a</sub> zur Verfügung steht. Die zeitliche Steuerung der Abtastvorgänge der Schaltung 68 erfolgt über einen zweiten Ausgang 70 des Taktgebers 64. An diesem zweiten Ausgang 70 liefert der Taktgenerator 64 eine zweite Impulsfolge, welche dieselbe Impulsfolgefrequenz aufweist wie die Impulsfolge am Ausgang 66, wobei die Einzelimpulse der Impulsfolge am Ausgang 70 jedoch jeweils kürzer sind als die Impulse am Ausgang 66 und ein innerhalb der Impulsbreite der Impulse am Ausgang 66 liegendes Zeitfenster definieren. Dabei ist dieses Zeitfenster so gewählt, daß Einschwingvorgänge zum Zeitpunkt der Abtastung bereits abgeklungen sind und daß die Abtastung auf jeden Fall beendet ist, ehe die Rückflanke eines Einzelimpulses vom Ausgang 66 erscheint. Der Zusammenhang zwischen den Impulsfolgen an den Ausgängen 66 und 70 des Taktgenerators 64 ist in Fig. 8 dargestellt, wo die Kurve a den Spannungsverlauf am Ausgang 66 und die Kurve b den Spannungsverlauf am Ausgang 70 des Taktgenerators zeigt.

In der Praxis kann die Impulsfolgefrequenz der beiden Impulsfolgen a, b einer Periodendauer von etwa 1 ms entsprechen, wobei die Dauer der Einzelimpulse der Impulsfolge a beispielsweise etwa 5 µs betragen kann. In diesem Fall ist die Vorderflanke der Einzelimpulse der Impulsfolge b gegenüber der Vorderflanke der Einzelimpulse der Impulsfolge a beispielsweise um 2 µs verzögert, während ihre Rückflanke, gerechnet vom Zeitpunkt des Auftretens der Vorderflanke des Impulses der Impulsfolge a, um etwa 4 µs verzögert sein kann, so daß die Rückflanke eines Abtastimpulses der Impulsfolge b etwa 1 µs vor der Rückflanke des zugeordneten Spulenimpulses der Impulsfolge a auftritt.

Aufgrund der relativ kurzen Spulenimpulse werden bei der betrachteten Ausgestaltung der Wandleranordnung nur die induktiven Anteile des aus der Serienschaltung der beiden Spulen 42, 42' gebildeten Spannungsteilers wirksam und nicht die ohmschen Anteile der Spulenwicklungen. Hierdurch erhält man wieder ein wegproportionales Ausgangssignal U<sub>a</sub>, welches allerdings in Form von einzelnen Impulsen vorliegt, aus denen mit Hilfe der Abtast/Haltespannung als Ausgangsspannung U<sub>a</sub> erhalten wird. Mit Hilfe der Schaltungsvariante gemäß Fig. 7 lassen sich der Bauteilaufwand und damit die Kosten und der Platzbedarf stark reduzieren. Weiterhin verringert sich auch der Stromverbrauch der Wandleranordnung. Dabei versteht es sich, daß diese Schaltungsvariante auch für den Y-Wandler mit den Spulen 44, 44' realisiert werden kann.

Während bei dem betrachteten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 und 2 für die Durchführung der Messungen eine magnetische Festlegung des Betätigungselementes des Linearpotentiometers 34 erfolgt, besteht in Ausgestaltung der Erfindung ferner die Möglichkeit, das Betätigungselement des Linearpotentiometers 34 mittels einer Schraubenfeder oder dergleichen in eine definierte Ausgangslage bezüglich des Gehäuses des Linearpotentiometers zu bringen. Dabei wird eine Ausführungsform bevorzugt, bei der die Schraubenfeder das Betätigungselement umgibt und sich mit seinem einen Ende am Gehäuse des Linearpotentiometers abstützt und mit seinem anderen Ende an einer Kopfplatte

am freien Ende des Betätigungselementes. Auch bei dieser Ausgestaltung erfolgt wieder eine solche Justierung des Linearpotentiometers, daß sich bei unbelasteter Meßsonde — genauer gesagt bei in Z-Richtung unbelasteter Meßsonde — am Ausgang des Potentiometers 34 das Positionssignal NULL ergibt.

Bezüglich des beim Ausführungsbeispiel verwendeten Linearpotentiometers zur Messung der Z-Auslenkung ist ferner anzumerken, daß anstelle dieses Potentiometers auch andere lineare Wegaufnehmer verwendet werden können, wie z. B. ein induktiver Wegaufnehmer oder ein Differentialtransformator.

#### Patentansprüche

1. Abtastvorrichtung zum berührenden Abtasten einer konturierten Oberfläche, insbesondere einer dreidimensionalen Freiformfläche, mittels einer stabförmigen Meßsonde, deren freies, im Betrieb der abzutastenden Oberfläche zugewandtes Ende in drei zueinander senkrechten Koordinaten X, Y und z beweglich ist, die in Z-Richtung mittels eines Linearlagers linear beweglich geführt ist, die in X- und Y-Richtung beweglich gehalten ist und deren Bewegungen über Wandler in Positionssignale für eine Auswerteeinrichtung umsetzbar sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsonde (18) an ihrem, dem freien Ende (18a) gegenüberliegenden Ende mittels einer Biegefeder (20) in Form eines einseitig eingespannten Rundstabs aus federelastischem Material derart beweglich mit dem Linearlager (16) verbunden ist, daß sie im unbelasteten Zustand durch Rückstellkräfte in einer Lage gehalten wird, in der ihre Längsachse in Richtung der Z-Achse verläuft, und daß sie bei einem Abtastvorgang senkrecht zu ihrer in Z-Richtung verlaufenden Längsachse in X- und Y-Richtung auslenkbar ist.
2. Abtastvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Biegefeder (20) an einem Träger (14) befestigt ist, welcher mittels eines Linearlagers (16) längs einer feststehenden Schiene (12) in Z-Richtung verfahrbar ist.
3. Abtastvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandler (34, 50, 52) für die Erzeugung der Positionssignale für die X-, die Y- und die Z-Richtung an dem Träger (14) befestigt sind.
4. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandler für die Erzeugung der Positionssignale für die X- und die Y-Richtung als berührungslos arbeitende X-, Y-Wandler (50, 52) ausgebildet sind.
5. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß einerseits die Meßsonde (18) im Bereich der X-, Y-Wandler (50, 52) und andererseits die X-, Y-Wandler (50, 52) derart ausgebildet sind, daß die von den X-, Y-Wandlern erzeugten Positionssignale ( $U_a$ ) jeweils linear mit der Position der Meßsonde (18) in X-Richtung und in Y-Richtung verknüpft sind.
6. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die X-, Y-Wandler (50, 52) als nach dem Wirbelstromverfahren arbeitende Wandler ausgebildet sind und daß die Meßsonde (18), zumindest im Bereich der Wandler (50, 52), aus elektrisch leitfähigem, nicht magnetisierbarem Material besteht.
7. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1

bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die X-, Y-Wandler als induktive, berührungslos arbeitende, ein Magnetfeld erzeugende Annäherungswandler ausgebildet sind und daß die Meßsonde (18) zumindest im Bereich der Wandler ein die von den Wandlern erzeugten Magnetfelder beeinflussendes Material aufweist.

8. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die X-, Y-Wandler (50, 52) zueinander senkrechte, der Meßsonde (18) zugewandten Sensorflächen aufweisen und daß die Meßsonde (18) im Bereich der Sensorfläche zu diesen parallele, zueinander senkrechte Außenfläche aufweist.

9. Abtastvorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsonde (18) im Bereich der X-, Y-Wandler einen rechteckigen Querschnitt und paarweise parallel zueinander verlaufende Außenflächen aufweist.

10. Abtastvorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß der X-Wandler und der Y-Wandler jeweils zwei Meßeinheiten (40, 42, 40, 42'; 40, 44, 40, 44') aufweisen, die einander und den zugeordneten Außenflächen der Meßsonde (18) paarweise gegenüberliegen.

11. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsonde (18) aus Messing besteht.

12. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (14) mittels einer Hubvorrichtung (22) in Z-Richtung in eine Ruheposition anhebbar und in eine Arbeitsposition absenkbar ist.

13. Abtastvorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Hubvorrichtung (22) einen Spindelantrieb (24, 26, 28, 30) umfaßt.

14. Abtastvorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Hubvorrichtung (22) lösbar mit dem Träger (14) gekoppelt und für einen Abtastvorgang derart von dem Träger (14) trennbar ist, daß dieser in eine bezüglich der Z-Achse definierte Nullstellung absenkbar ist.

15. Abtastvorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Nullstellung des Trägers (14) durch einen Anschlag (32) definiert ist.

16. Abtastvorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Anschlag durch ein federndes Druckstück (32) gebildet ist.

17. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Z-Wandler einen Linearwandler (34) umfaßt.

18. Abtastvorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß als Linearwandler ein Linearpotentiometer (34) vorgesehen ist.

19. Abtastvorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Linearpotentiometer (34) an dem Träger (14) befestigt ist und ein Betätigungselement aufweist, welches in der Nullstellung des Trägers lösbar an einem feststehenden Bauteil festlegbar ist.

20. Abtastvorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Betätigungselement des Linearpotentiometers (34) magnetisch festlegbar ist.

21. Abtastvorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Linearpotentiometer (34) an dem Träger (14) befestigt ist und ein Betätigungselement aufweist, welches mittels einer zwei-



schen dem Gehäuse des Linearpotentiometers (34) und dem Betätigungselement desselben eingespannten Feder in einer definierten Ausgangslage gehalten ist.

22. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der X-Wandler und der Y-Wandler als kapazitive, berührungslos arbeitende Wandler ausgebildet sind.

23. Abtastvorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der X-Wandler und/oder der Y-Wandler zwei in Serie geschaltete Spulen (42, 42'; 44, 44') aufweisen, die mit einer hochfrequenten Spannung gespeist werden.

24. Abtastvorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz der Speisespannung für die Spulen (42, 42'; 44, 44') in einem Frequenzbereich von etwa 20 bis 100 kHz liegt.

25. Abtastvorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der X-Wandler und/oder der Y-Wandler zwei in Serie geschaltete Spulen (42, 42'; 44, 44') aufweisen, die mittels eines Taktgenerators (64) mit einer Impulsfolge ansteuerbar sind, und daß zur Erzeugung einer kontinuierlichen, analogen Ausgangsspannung eine Abtast/Halte-Schaltung (68) vorgesehen ist, welche durch eine von dem Taktgenerator (64) erzeugte Impulsfolge steuerbar ist, deren Einzelimpulse derart mit den den Spulen (42, 42'; 44, 44') zugeführten Impulsen synchronisiert sind, daß sie für die Dauer jedes dieser Impulse ein Zeitfenster für den Abtastvorgang definieren.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite. -



Fig.2

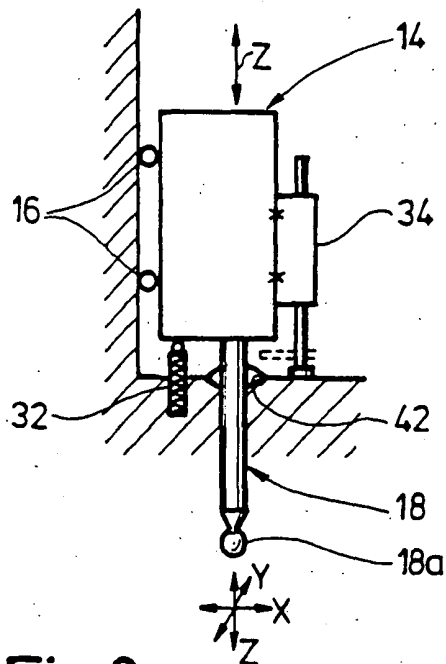


Fig.5

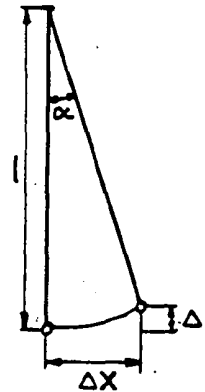


Fig.3

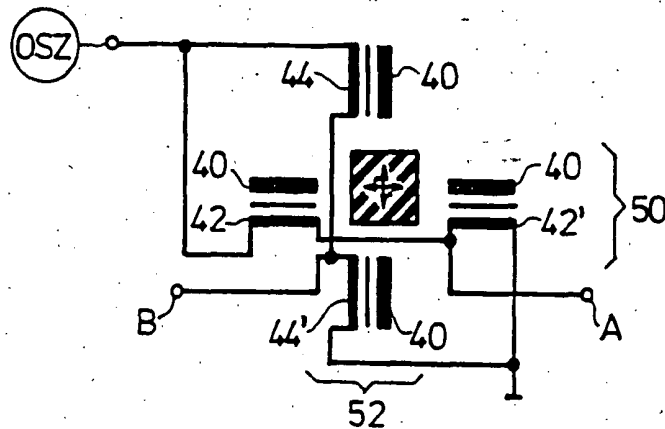


Fig.4

